

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09069562 A**(43) Date of publication of application: **11.03.97**

(51) Int. Cl.

H01L 21/768**H01L 21/265****H01L 21/312**(21) Application number: **07227294**(22) Date of filing: **10.08.95**

(30) Priority: **14.09.94 JP 06247050**
22.11.94 JP 06312774
27.03.95 JP 07 94318
21.06.95 JP 07179506

(71) Applicant: **SANYO ELECTRIC CO LTD**

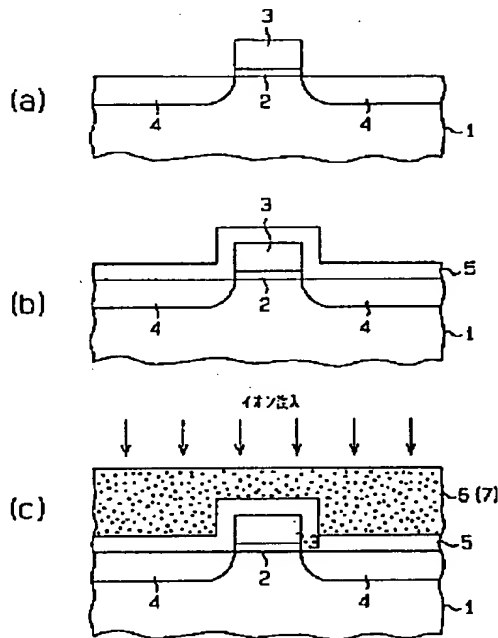
(72) Inventor: **WATANABE HIROYUKI**
MIZUHARA HIDEKI
JITSUZAWA YOSHISUE
HIRASE MASAKI
AOE HIROYUKI

(54) SEMICONDUCTOR DEVICE AND FABRICATION THEREOF**(57) Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To decompose the organic components contained in an organic SOG film while reducing moisture and hydroxy group contained therein.

SOLUTION: A gate insulation film 2, a gate electrode 3, and a source-drain region 4 are formed on a single crystal silicon substrate 1. A silicon 5 is then deposited on the entire surface of a device by plasma CVD followed by deposition of organic SOG 6 thereon. Subsequently, the organic SOG 6 is doped with ions selected from a group of silicon fluoride ion, boron fluoride ion, argon fluoride ion, and nitrogen ion thus decomposing the organic components while reducing moisture and hydroxy group contained in the film. Consequently, the organic SOG 6 is changed into a modified SOG 7.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-69562

(43) 公開日 平成9年(1997)3月11日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/768			H 0 1 L 21/90	S
21/265			21/312	Z
21/312				N
			21/265	W
				Q
審査請求 未請求 請求項の数 6 F D (全 30 頁)				

(21) 出願番号 特願平7-227294

(22) 出願日 平成7年(1995)8月10日

(31) 優先権主張番号 特願平6-247050

(32) 優先日 平6(1994)9月14日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平6-312774

(32) 優先日 平6(1994)11月22日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平7-94318

(32) 優先日 平7(1995)3月27日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000001889
三洋電機株式会社
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号

(72) 発明者 渡辺 裕之
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内

(72) 発明者 水原 秀樹
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内

(72) 発明者 実沢 佳居
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内

(74) 代理人 弁理士 恩田 博宣

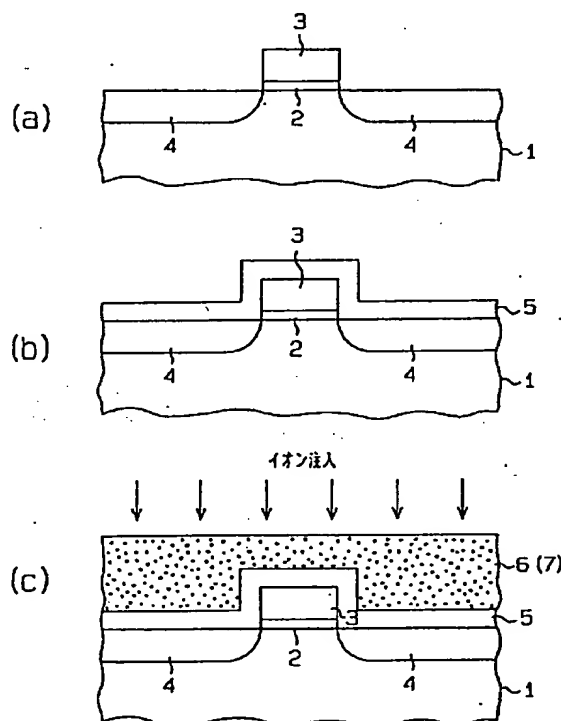
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置の製造方法および半導体装置

(57) 【要約】

【課題】 有機 SOG 膜に含まれる有機成分を分解させると共に、膜中に含まれる水分および水酸基を減少させる。

【解決手段】 単結晶シリコン基板 1 の上にゲート絶縁膜 2、ゲート電極 3、ソース・ドレイン領域 4 が形成される。次に、プラズマ CVD 法を用いて、デバイスの全面にシリコン酸化膜 5 が形成される。続いて、シリコン酸化膜 5 の上に有機 SOG 膜 6 が形成される。そして、イオン注入法を用いて、フッ化シリコンイオン、フッ化ボロンイオン、アルゴンイオン、ボロンイオン、窒素イオンからなるグループから選択された一つのイオンを有機 SOG 膜 6 にドーピングすることで、有機成分を分解させると共に、膜中に含まれる水分および水酸基を減少させる。その結果、有機 SOG 膜 6 は改質された SOG 膜 7 に変えられる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 SOG膜にイオン注入を行う工程を備えた半導体装置の製造方法。

【請求項2】 不活性ガスイオン、III b, IVb, V b, VI b, VII b, IVa, Vaの各族の元素単体イオン、またはこれら元素の化合物イオンからなるグループから選択された少なくとも一つのイオンをイオン注入法を用いてSOG膜にドーピングする工程を備えた半導体装置の製造方法。

【請求項3】 不活性ガスイオン、ボロン、窒素、酸素、アルミ、イオウ、塩素、ガリウム、ゲルマニウム、ヒ素、セレン、臭素、アンチモン、ヨウ素、インジウム、スズ、テルル、鉛、ビスマス、チタン、ニオブ、ハフニウム、タンタルの元素単体イオンまたはこれら元素の化合物イオン、フッ素の化合物イオンからなるグループから選択された少なくとも一つのイオンをイオン注入法を用いてSOG膜にドーピングする工程を備えた半導体装置の製造方法。

【請求項4】 不活性ガスイオン、ボロンもしくはヒ素の元素単体イオン、またはこれら元素の化合物イオンからなるグループから選択された少なくとも一つのイオンをイオン注入法を用いてSOG膜にドーピングする工程を備えた半導体装置の製造方法。

【請求項5】 請求項1～4のいずれか1項に記載の半導体装置の製造方法において、前記SOG膜は有機SOG膜または無機SOG膜である半導体装置の製造方法。

【請求項6】 請求項1～5のいずれか1項に記載の半導体装置の製造方法によって形成されたSOG膜を多層配線間の層間絶縁膜として用いる半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は半導体装置の製造方法および半導体装置に係り、詳しくは、SOG (Spin On Glass) 膜の製造方法および当該SOG膜を用いた層間絶縁膜に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、半導体集積回路のさらなる高集積化を実現するために、配線の微細化および多層化を進めることが要求されている。配線を多層化するには各配線間に層間絶縁膜を設けるが、その層間絶縁膜の表面が平坦でないと、層間絶縁膜の上部に形成された配線に段差が生じて断線などの故障が引き起こされる。従って、層間絶縁膜の表面（すなわち、デバイスの表面）は可能な限り平坦化されていなければならない。このように、デバイスの表面を平坦化する技術は平坦化技術と呼ばれ、配線の微細化および多層化に伴ってますます重要になっている。

【0003】 平坦化技術において最も多用される層間絶縁膜としてSOG膜があり、特に層間絶縁膜材料のフロー特性を利用した平坦化技術において盛んな検討がな

れている。SOGとは、シリコン化合物を有機溶剤に溶解した溶液、および、その溶液から形成される二酸化シリコンを主成分とする膜の総称である。SOG膜を形成するには、まず、シリコン化合物を有機溶剤に溶解した溶液を基板上に滴下して基板を回転させる。すると、当該溶液の被膜は、配線によって形成される基板上の段差に対して、その凹部には厚く、その凸部には薄く、段差を緩和するように形成される。その結果、当該溶液の被膜の表面は平坦化される。次に、熱処理が施されると、有機溶剤が蒸発すると共に重合反応が進行して、表面が平坦なSOG膜が形成される。

【0004】 SOG膜には、一般式(1)で表されるように、シリコン化合物中に有機成分を含まない無機SOG膜と、一般式(2)で表されるように、シリコン化合物中に有機成分を含む有機SOG膜とがある。

【0005】 $[\text{SiO}_2]_n \dots\dots (1)$

$[\text{R}_x \text{SiO}_y]_n \dots\dots (2)$

(n, X, Y; 整数; R; アルキル基またはアリール基)

無機SOG膜は、水分および水酸基を多量に含んでいる上に、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法によって形成されたシリコン酸化膜に比べて脆弱であり、膜厚を0.5 μm以上にすると熱処理時にクラックが発生し易いという欠点がある。

【0006】 一方、有機SOG膜は、分子構造上、アルキル基またはアリール基で結合が閉じている部分があるため、熱処理時におけるクラックの発生が抑制され、膜厚を0.5～1 μm程度にすることができる。従って、有機SOG膜を用いれば、膜厚の大きな層間絶縁膜を得ることができ、基板上の大きな段差に対しても十分な平坦化が可能になる。

【0007】 しかし、有機SOG膜には有機成分が含まれているため、ビアホールを開口する際のエッチングにおいて、四フッ化炭素と水素との混合ガス系 ($\text{CF}_4 + \text{H}_2$) を用いるとエッチングレートが遅くなる。そのため、有機SOG膜にビアホールを開口する際のエッチングでは、四フッ化炭素と酸素の混合ガス系を用いる必要がある。一般に、層間絶縁膜にビアホールを開口する際のエッチングでは、エッチングマスクとしてフォトレジストが用いられる。しかし、四フッ化炭素と酸素の混合ガス系をエッチングガスとして用いると、フォトレジストまでもエッチングされてしまう。その結果、フォトレジストでマスクされている有機SOG膜までもエッチングされてしまい、微細なビアホールを正確に形成することができなくなる。

【0008】 また、無機SOG膜に比べれば少ないものの、有機SOG膜にも水分および水酸基が含まれている。さらに、SOG膜の絶縁性および機械的強度は、CVD法によって形成されたシリコン酸化膜に比べて低い。そのため、一般に、SOG膜を層間絶縁膜として用

いる場合には、水分および水酸基を遮断する性質に加えて絶縁性および機械的強度が高い性質をもつ絶縁膜をSOG膜の上層および下層に形成したサンドウィッチ構造が採用される。そのような絶縁膜としては、通常、CVD法によって形成されたシリコン酸化膜が用いられる。

【0009】しかし、有機SOG膜には有機成分が含まれているため、ビアホールを開口する際のエッチング時に、有機SOG膜中に含まれる水分や下層のシリコン酸化膜からの酸素供給により、上層および下層のシリコン酸化膜に比べて有機SOG膜が余分にエッチングされる。また、エッチングマスクとして用いるフォトレジストを除去する際のアッシング処理時には、有機SOG膜に含まれる有機成分も分解するため、有機SOG膜が収縮する。その結果、有機SOG膜にクラックが生じたり、有機SOG膜部分が後退してリセスが発生してしまう。リセスが発生すると、スパッタ法を用いて配線を形成する際に、ビアホール内に配線を十分に埋め込むことができなくなり、良好なコンタクトが得られなくなる。尚、リセスはレトログレッション(Retrogression)ともいう。また、有機SOG膜に含まれる有機成分が分解すると、有機SOG膜の吸湿性が高まる。ちなみに、これらの問題については、[C. K. Wang, L. M. Liu, H. C. Cheng, H. C. Huang, M. S. Lin, Proc. of IEEE VMI C, p. 101 (1994).] に詳しい。

【0010】そこで、特開平1-307247号公報に開示されるように、有機SOG膜に酸素プラズマ処理を施すことで、有機SOG膜中のC-Si結合をSi-O-Si結合に変化させ、有機SOG膜に含まれる有機成分を分解する方法が提案されている。

【0011】図44に、有機SOG膜の酸素プラズマ処理前後の赤外吸収スペクトルを示す。尚、有機SOG膜の組成は $[\text{CH}_3, \text{Si}(\text{OH})_3]$ で、その膜厚は3000Åである。その形成方法は、まず、前記組成のシリコン化合物のエタノール溶液を基板上に滴下して基板を回転速度; 4800 rpmで20秒間回転させ、当該溶液の被膜を基板上に形成させる。次に、窒素雰囲気中において、100℃で1分間、200℃で1分間、300℃で1分間、22℃で1分間、300℃で30分間、順次熱処理が施されて有機SOG膜が形成される。続いて、処理時間; 60秒間、高周波電力(RF Power); 500 W、設定温度; 360℃、酸素流量; 600sccmの条件で有機SOG膜に酸素プラズマ処理が施される。

【0012】図44において、グラフ44-1は有機SOG膜の形成直後(酸素プラズマ処理が施される前)、グラフ44-2は酸素プラズマ処理が施された直後、グラフ44-3は酸素プラズマ処理が施されてからクリーンルーム内で大気中に3日間晒された後、グラフ44-4は酸素プラズマ処理を施されてからクリーンルーム内で大気中に7日間晒された後の有機SOG膜の赤外吸収スペクトルである。

【0013】グラフ44-1に示すように、酸素プラズマ処理前には、波数(WAVE NUMBER); 約 3000cm^{-1} と 1250cm^{-1} 付近に有機成分に起因する吸収ピークが見られる。尚、約 3000cm^{-1} 付近の吸収ピークはC-H結合の伸縮に起因し、 1250cm^{-1} 付近の吸収ピークはC-H結合の変角に起因するものである。しかし、グラフ44-2～44-4に示すように、酸素プラズマ処理後には約 3000cm^{-1} および 1250cm^{-1} 付近に吸収ピークが見られない。従って、酸素プラズマ処理により、有機SOG膜に含まれる有機成分が分解されているのがわかる。

【0014】しかし、グラフ44-2に示すように、酸素プラズマ処理直後には 3600cm^{-1} および 930cm^{-1} 付近に水酸基に起因する吸収ピークが見られる。尚、 3600cm^{-1} 付近の吸収ピークはH-OH, Si-OHのO-H結合の伸縮に起因し、 930cm^{-1} 付近の吸収ピークはSi-OHのSi-O結合の伸縮に起因するものである。また、グラフ44-2～44-4に示すように、 3600cm^{-1} および 930cm^{-1} 付近の吸収ピークは酸素プラズマ処理が施されてから時間を経るほど大きくなる。これは、酸素プラズマ処理が施された有機SOG膜が大気中の水分を吸収したためである。尚、酸素プラズマ処理を施さない場合でも、有機SOG膜は大気中の水分を吸収するため、 3600cm^{-1} および 930cm^{-1} 付近の吸収ピークは時間を経るほど大きくなる。しかし、酸素プラズマ処理が施された場合には、その吸収ピークの増大がより顕著となる。

【0015】このように、有機SOG膜に酸素プラズマ処理を施す方法には、有機成分が分解されるという利点がある反面、膜中に含まれる水分および水酸基が増大するという欠点がある。

【0016】SOG膜に含まれる水分および水酸基が増大するとボイズンドビアなどの不良が起こる。ボイズンドビアとは、配線に金属を用いた場合、ビアホール部に露出しているSOG膜に含まれる水分により、ビアホール部の配線が腐食される現象である。また、ビアホール部に露出しているSOG膜に含まれる水分とビアホール部の配線とが反応し、コンタクト抵抗が高くなるという問題もある。ちなみに、これらの問題については、[C. Chiang, N. V. Lam, J. K. Chu, N. Cox, D. Fraser, J. Bozarth, B. Mumford, Proc. of IEEE VMIC, p. 404 (1987).] に詳しい。

【0017】これを防止するには、前記サンドウィッチ構造(CVD法によって形成されたシリコン酸化膜をSOG膜の上層および下層に形成する構造)を採用すると共に、上層のシリコン酸化膜を形成する前にSOG膜をエッチバックすればよい。そうすれば、ビアホールの断面が上層および下層のシリコン酸化膜だけで形成され、ビアホール部にSOG膜が露出しなくなる。しかし、SOG膜をエッチバックする工程が必要になるため、その分だけ製造工程が複雑化してスループットが低下するという問題がある。

【0018】そこで、有機SOG膜にイオン注入法を用いてフッ素をドーピングすることで、有機成分を分解させると共に、膜中に含まれる水分および水酸基を減少させる方法が提案されている[L-J. Chen, S-T. Hsia, J-L. L. eu, Proc. of IEEE VMIC, p. 81 (1994). 参照]。同論文には、膜厚；4000Åの有機SOG膜へ、加速エネルギー；40keV または80keV で、ドーズ量； $3 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$ のフッ素イオンを注入し、425℃で30分間の熱処理を施した結果、有機SOG膜に含まれる水分を減少させることができたと記載されている。

【0019】また、有機SOG膜にイオン注入法を用いてシリコンまたはリンをドーピングすることで、有機成分を分解させる方法が提案されている[N. Moriya, Y. Shacham-Diamond, R. Kalish, J. Electrochem. Soc., Vol. 140, No. 5, p. 1442 (1993). 参照]。

【0020】ちなみに、有機SOG膜にアルゴン、窒素、酸化窒素(N_2O)などのプラズマ処理を施すことで、有機成分を分解させる方法も提案されている[C. K. Wang, L. M. Liu, H. C. Cheng, H. C. Huang, M. S. Lin, Proc. of IEEE VMIC, p. 101 (1994). M. Matsuura, Y. Ii, K. Shibata, Y. Hayashide, H. Kotani, Proc. of IEEE VMIC, p. 113 (1993). 参照]。

【0021】

【発明が解決しようとする課題】しかし、有機SOG膜にイオン注入法を用いてフッ素をドーピングする方法には、以下の問題がある。

【0022】(1) 配線にアルミニウムが用いられた場合、SOG膜中のフッ素によってアルミニウムが腐食される[Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 31 (1992) pp. 2045-2048 Part 1, No. 6B, June 1992 参照]。

【0023】(2) MOSTランジスタの上にフッ素をドーピングしたSOG膜が形成された場合、SOG膜中のフッ素によってゲート絶縁膜が低誘電率化されるため、ゲート絶縁膜の実効的な膜厚が厚くなる。その結果、閾値電圧が変化するなど、MOSTランジスタの素子特性が設計値とは異なったものになる。

【0024】(3) MOSTランジスタの上にフッ素をドーピングしたSOG膜が形成され、ソース・ドレイン領域がリンまたはボロンの不純物拡散によって形成されている場合、SOG膜中のフッ素によって当該不純物拡散が抑制される。その結果、MOSTランジスタの素子特性が設計値とは異なったものになる。

【0025】また、有機SOG膜にイオン注入法を用いてリンまたはリンの化合物をドーピングする方法には、配線にアルミニウムが用いられた場合、SOG膜中の水分とリンとが反応してリン酸(H_3PO_4)が生成され、そのリン酸によってアルミニウムが腐食されるという問題がある。

【0026】そして、有機SOG膜にイオン注入法を用いてシリコンまたはシリコンの化合物をドーピング方法

には、SOG膜の導電性が高くなり層間絶縁膜としての性能が劣化するという問題がある。

【0027】本発明は上記問題点を解決するためになされたものであって、以下の目的を有するものである。

1) SOG膜に含まれる水分および水酸基を減少させることが可能な半導体装置の製造方法を提供する。

【0028】2) SOG膜に含まれる有機成分を分解させると共に、膜中に含まれる水分および水酸基を減少させることが可能な半導体装置の製造方法を提供する。

3) 平坦性に優れ、ポイズンドビアなどの不良を回避することが可能な層間絶縁膜を備えた半導体装置を提供する。

【0029】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明は、SOG膜にイオン注入を行う工程を備えたことをその要旨とする。

【0030】請求項2に記載の発明は、不活性ガスイオン、III b, IVb, Vb, VIb, VII b, IVa, Vaの各族の元素単体イオン、またはこれら元素の化合物イオンからなるグループから選択された少なくとも一つのイオンをイオン注入法を用いてSOG膜にドーピングする工程を備えたことをその要旨とする。

【0031】請求項3に記載の発明は、不活性ガスイオン、ボロン、窒素、酸素、アルミ、イオウ、塩素、ガリウム、ゲルマニウム、ヒ素、セレン、臭素、アンチモン、ヨウ素、インジウム、スズ、テルル、鉛、ビスマス、チタン、ニオブ、ハフニウム、タンタルの元素単体イオンまたはこれら元素の化合物イオン、フッ素の化合物イオンからなるグループから選択された少なくとも一つのイオンをイオン注入法を用いてSOG膜にドーピングする工程を備えたことをその要旨とする。

【0032】請求項4に記載の発明は、不活性ガスイオン、ボロンもしくはヒ素の元素単体イオン、またはこれら元素の化合物イオンからなるグループから選択された少なくとも一つのイオンをイオン注入法を用いてSOG膜にドーピングする工程を備えたことをその要旨とする。

【0033】請求項5に記載の発明は、請求項1～4のいずれか1項に記載の半導体装置の製造方法において、前記SOG膜は有機SOG膜または無機SOG膜であることをその要旨とする。

【0034】請求項6に記載の発明は、請求項1～5のいずれか1項に記載の半導体装置の製造方法によって形成されたSOG膜を多層配線間の層間絶縁膜として用いることをその要旨とする。

【0035】

【発明の実施の形態】

(第1実施形態) 以下、本発明を具体化した第1実施形態の製造方法を図1および図2に従って説明する。

【0036】まず、図1(a)に示すように、(100) p型(またはn型)単結晶シリコン基板1の上にゲ

ート絶縁膜 2 (膜厚; 100 Å) およびゲート電極 3 (膜厚; 2000 Å) が形成される。そして、ゲート絶縁膜 2 およびゲート電極 3 をマスクとするイオン注入法を用いて基板 1 に n 型 (または p 型) 不純物がドーピングされ、ソース・ドレイン領域 4 が自己整合的に形成されて MOS トランジスタが完成される。

【0037】次に、図 1 (b) に示すように、プラズマ CVD 法を用いて、デバイスの全面にシリコン酸化膜 5 (膜厚; 1500 Å) が形成される。尚、このプラズマ CVD 法で用いられるガスは、モノシランと亜酸化窒素 ($\text{SiH}_4 + \text{N}_2\text{O}$)、モノシランと酸素 ($\text{SiH}_4 + \text{O}_2$)、TEOS (Tetra-ethoxy-silane) と酸素 ($\text{TEOS} + \text{O}_2$) などであり、成膜温度は 300 ~ 900 °C である。

【0038】続いて、図 1 (c) に示すように、シリコン酸化膜 5 の上に有機 SOG 膜 6 が形成される。有機 SOG 膜 6 の組成は $[\text{CH}_3\text{Si}(\text{OH})_3]$ で、その膜厚は 4000 Å である。その形成方法は、まず、前記組成のシリコン化合物のエタノール溶液を基板 1 の上に滴下して基板を回転速度; 4800 rpm で 20 秒間回転させ、当該溶液の被膜を基板 1 の上に形成させる。このとき、そのエタノール溶液の被膜は、基板 1 上の段差に対して、その凹部には厚く、その凸部には薄く、段差を緩和するように形成される。その結果、エタノール溶液の被膜の表面は平坦化される。次に、窒素雰囲気中において、100 °C で 1 分間、200 °C で 1 分間、300 °C で 1 分間、22 °C で 1 分間、300 °C で 30 分間、順次熱処理が施されると、エタノールが蒸発すると共に重合反応が進行して、表面が平坦な有機 SOG 膜 6 が形成される。

【0039】そして、イオン注入法を用いて後記するグループから選択された一つのイオンを有機 SOG 膜 6 にドーピングすることで、有機成分を分解させると共に、膜中に含まれる水分および水酸基を減少させる。その結果、有機 SOG 膜 6 は、有機成分が含まれず、水分および水酸基が僅かしか含まれない SOG 膜 (以下、改質 SOG 膜という) 7 に変えられる。

【0040】次に、図 2 (a) に示すように、プラズマ CVD 法を用いて、改質 SOG 膜 7 の上にシリコン酸化膜 8 (膜厚; 200 Å) が形成される。シリコン酸化膜 8 の形成条件はシリコン酸化膜 5 と同じである。

【0041】続いて、図 2 (b) に示すように、四フッ化炭素と水素の混合ガス系をエッチングガスとして用いる異方性エッチングが行われ、ソース・ドレイン領域 4 の上の各膜 5 ~ 8 にビアホール 9 が形成される。

【0042】その後、図 2 (c) に示すように、スパッタ法を用いてビアホール 9 内を含むデバイスの全面にアルミニウム膜が堆積され、そのアルミニウム膜が所望のパターンになるように異方性エッチングが行われてソース・ドレイン電極 (ソース・ドレイン配線) 10 が形成される。

【0043】本実施形態の製造方法によれば、以下の作用および効果を得ることができる。

①シリコン酸化膜 5 と改質 SOG 膜 7 とシリコン酸化膜 8 とからなる 3 層構造の層間絶縁膜 11 が MOS トランジスタの上に形成されている。改質 SOG 膜 7 は有機 SOG 膜 6 と同様に、分子構造上、アルキル基またはアリール基で結合が閉じている部分があるため、熱処理時におけるクラックの発生が抑制され、膜厚を 0.5 ~ 1 μm 程度にすることができる。従って、改質 SOG 膜 7 を用いれば、層間絶縁膜 11 の膜厚を大きくすることができ、基板 1 上の大きな段差に対しても十分な平坦化が可能になる。

【0044】②各シリコン酸化膜 5、8 で改質 SOG 膜 7 が挟まれたサンドウィッチ構造が採用されているのは、層間絶縁膜 11 全体としての絶縁性および機械的強度を高めるためである。また、シリコン酸化膜 5 が設けられているのは、改質 SOG 膜 7 に僅かに含まれている水分および水酸基が MOS トランジスタに与える影響を無くすためである。そして、シリコン酸化膜 8 が設けられているのは、改質 SOG 膜 7 が大気中の水分を吸収するのを防ぐためである。

【0045】③改質 SOG 膜 7 には有機成分が含まれていないため、ビアホール 9 を形成するためのエッチングを、四フッ化炭素と水素の混合ガス系の雰囲気中で行うことができる。そのため、当該エッチングにおいて、エッチングマスクとしてフォトリソストを用いた場合でも、そのフォトリソストが侵されることはなく、そのフォトリソストでマスクされている改質 SOG 膜 7 がエッチングされることもない。従って、微細なビアホール 9 を正確に形成することができる。

【0046】④改質 SOG 膜 7 には有機成分が含まれていないため、改質 SOG 膜 7 のエッチングレートは各シリコン酸化膜 5、8 と同じになる上に、エッチングマスクとして用いたフォトリソストを除去する際のアッシング処理時に改質 SOG 膜 7 が収縮することはない。そのため、改質 SOG 膜 7 にクラックが生じることはなく、ビアホール 9 を形成する際にリセスが発生することはない。従って、ビアホール 9 内にアルミニウム膜を十分に埋め込むことが可能になり、ソース・ドレイン電極 10 とソース・ドレイン領域 4 との間のコンタクトを良好にすることができる。

【0047】⑤改質 SOG 膜 7 には有機成分が含まれず、水分および水酸基が僅かしか含まれないため、各シリコン酸化膜 5、8 を省いて改質 SOG 膜 7 を単層で用いることもできる。

【0048】(第 2 実施形態) 次に、本発明を具体化した第 2 実施形態の製造方法を図 3 および図 4 に従って説明する。尚、本実施形態において、第 1 実施形態と同じ構成部材については符号を等しくしてその詳細な説明を省略する。

【0049】まず、図3(a)に示すように、p型(またはn型)単結晶シリコン基板1の上にゲート絶縁膜2およびゲート電極3が形成され、ソース・ドレイン領域4が形成されてMOSトランジスタが完成される。そして、デバイスの全面に層間絶縁膜21が形成され、ソース・ドレイン領域4の上の層間絶縁膜21にビアホール22が形成される。その後、スパッタ法を用いてビアホール22内を含むデバイスの全面にアルミ膜が堆積され、そのアルミ膜が所望のパターンになるように異方性エッチングが行われてソース・ドレイン電極(ソース・ドレイン配線)10が形成される。

【0050】次に、図3(b)に示すように、デバイスの全面にシリコン酸化膜5が形成される。続いて、図3(c)に示すように、シリコン酸化膜5の上に有機SOG膜6が形成され、イオン注入によって有機SOG膜6は改質SOG膜7に変えられる。

【0051】そして、図4(a)に示すように、改質SOG膜7の上にシリコン酸化膜8が形成され、層間絶縁膜11が形成される。次に、図4(b)に示すように、四フッ化炭素と水素の混合ガス系をエッチングガスとして用いる異方性エッチングが行われ、各膜5~8にビアホール9が形成される。

【0052】続いて、図4(c)に示すように、スパッタ法を用いてビアホール9内を含むデバイスの全面にアルミ膜が堆積され、そのアルミ膜が所望のパターンになるように異方性エッチングが行われて配線23が形成される。

【0053】このように、本実施形態では、第1配線層としてのソース・ドレイン配線10の上に、層間絶縁膜11を介して第2配線層としての配線23が形成されている。この場合でも、MOSトランジスタおよび第1配線層に影響を与えることなく第1実施形態と同様の作用および効果を得ることができる。

【0054】(改質SOG膜7の構造および各種特性) 次に、改質SOG膜7の構造および各種特性について調べた結果を述べる。改質SOG膜7の構造については、FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) 法、SIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy) 法、ESR (Electron Spin Resonance) 法、TDS (Thermal Desorption Spectroscopy) 法を用いて評価し、プラズマ耐性、耐熱性、および吸湿性の評価結果とあわせて検討した。改質SOG膜7の電気的特性については、アルミニウム電極を用いたMOS (Metal Oxide Semiconductor) キャパシタを作製し、高周波CV (Capacitance Voltage) 法を用いて評価した。

【0055】膜の安定性に関して、耐熱性、プラズマ耐性、水分透過性、吸湿性に着目して評価した。耐熱性は、窒素雰囲気中で熱処理した前後の膜厚変化に着目して評価した。また、TDS法を用いて脱離するガスを分析し、FT-IR法による赤外吸収スペクトル(FT-IRスペク

トル)の変化と比較して検討した。プラズマ耐性は、プラズマ(レジストをアッシングする条件)に晒した前後の膜厚変化や赤外吸収スペクトルの変化に着目して評価した。吸湿性や水分透過性については、クリーンルーム内に放置した前後、およびブレッシャー・クッカー試験(PCT)を行った前後の赤外吸収スペクトルの変化に着目して評価した。各SOG膜6、7の膜厚は、断面SEM (Scanning Electron Microscope) 法を用いて評価した。各SOG膜6、7の電気的特性は、(100)n型単結晶シリコン基板上にアルミニウム電極を用いたMOSキャパシタを作製し、高周波CV法(周波数: 1MHz)を用いて評価した。MOSキャパシタは電極形成後に、フォーミングガス(H₂/N₂ = 1/9)中で450℃で15分の熱処理を施した。

【0056】[A. 改質SOG膜7の構造変化]

<A-1. 改質SOG膜7中の化学結合(FT-IR法)>

図5に、有機SOG膜6に種々のイオンが注入された直後の赤外吸収スペクトルをFT-IR法によって測定した結果を示す。尚、イオン注入の条件は、加速エネルギー: 140keV、ドーズ量: $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$ であり、イオン注入後に300℃で30分間の熱処理が行われる。また、イオン注入後の熱処理については省いても同様な結果を得ることができる。

【0057】図5において、グラフ5-1は有機SOG膜6の形成直後(イオン注入が行われる前)、グラフ5-2はフッ化シリコン(SiF₃)イオンが注入された直後、グラフ5-3はフッ化ボロン(BF₂)イオンが注入された直後、グラフ5-4はアルゴンイオンが注入された直後、グラフ5-5はリンイオンが注入された直後、グラフ5-6はシリコンイオンが注入された直後、グラフ5-7はボロンイオンが注入された直後、グラフ5-8はフッ素イオンが注入された直後の改質SOG膜7の赤外吸収スペクトルである。

【0058】グラフ5-1に示すように、イオン注入前には、波数(WAVE NUMBER): 約3000cm⁻¹と1250cm⁻¹付近に有機成分に起因する吸収ピークが見られる。尚、約3000cm⁻¹付近の吸収ピークはC-H結合の伸縮に起因し、1250cm⁻¹付近の吸収ピークはC-H結合の変角に起因するものである。しかし、グラフ5-2~5-8に示すように、イオン注入後には約3000cm⁻¹および1250cm⁻¹付近に吸収ピークが見られない。また、グラフ5-2~5-8に示すように、注入するイオン種を変えても改質SOG膜7の赤外吸収スペクトルは変化しないことがわかる。従って、イオンが注入されることで、有機SOG膜6に含まれる有機成分が分解されることがわかる。

【0059】ところで、改質SOG膜7に水分および水酸基が含まれているならば、図44に示す酸素プラズマ処理を施した場合のように、3600cm⁻¹および930cm⁻¹付近に水酸基に起因する吸収ピークが見られるはずである。尚、3600cm⁻¹付近の吸収ピークはH-OH、Si-O

OHのO-H結合の伸縮に起因し、 930 cm^{-1} 付近の吸収ピークはSi-OHのSi-O結合の伸縮に起因するものである。しかし、グラフ5-2~5-8には、そのような吸収ピークは見られない。従って、イオンが注入された直後には、有機SOG膜6に比べて改質SOG膜7に含まれる水分および水酸基が減少していることがわかる。

【0060】図6に、有機SOG膜6にイオンが注入された前後の赤外吸収スペクトルをFT-IR法によって測定した結果を示す。尚、イオン注入の条件およびイオン種は図3におけるそれと同じであり、イオン種を変えても改質SOG膜7の赤外吸収スペクトルは変化しない。

【0061】図6において、グラフ6-1は有機SOG膜6の形成直後、グラフ6-2はイオンが注入された直後、グラフ6-3はイオンが注入されてからクリーンルーム内で大気中に1日間晒された後、グラフ6-4はイオンが注入されてからクリーンルーム内で大気中に10日間晒された後の改質SOG膜7の赤外吸収スペクトルである。

【0062】グラフ6-2~6-4に示すように、イオン注入が行われてから時間を経ても 3600 cm^{-1} および 930 cm^{-1} 付近の吸収ピークはほとんど大きくなる。従って、改質SOG膜7に含まれる水分および水酸基は時間を経ても増大しないことがわかる。一方、図44に示すように、酸素プラズマ処理が施された有機SOG膜では、 3600 cm^{-1} および 930 cm^{-1} 付近の吸収ピークが時間を経るほど大きくなっている。つまり、酸素プラズマ処理が施された有機SOG膜に比べて、改質SOG膜7の吸湿性は低下していることがわかる。

【0063】図7および図8に、有機SOG膜6に注入するイオンのドーズ量を変化させた場合の赤外吸収スペクトルをFT-IR法によって測定した結果を示す。尚、イオン注入の条件は、図7に示すのは加速エネルギー；30keVの場合、図8に示すのは加速エネルギー；140keVの場合であり、それぞれイオン注入後に300℃で30分間の熱処理が行われる。尚、イオン注入後の熱処理については省いても同様な結果を得ることができる。また、注入するイオン種については図5に示したものと同一であり、イオン種を変えても改質SOG膜7の赤外吸収スペクトルは変化しない。

【0064】図7および図8において、グラフ7-1およびグラフ8-1は有機SOG膜6の形成直後、グラフ7-2およびグラフ8-2はドーズ量； $1 \times 10^{14}\text{ cm}^{-2}$ 、グラフ7-3およびグラフ8-3はドーズ量； $1 \times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$ 、グラフ7-4およびグラフ8-4はドーズ量； $1 \times 10^{16}\text{ cm}^{-2}$ の場合の赤外吸収スペクトルである。

【0065】グラフ7-1~8-4に示すように、イオンのドーズ量が増えるほど 3600 cm^{-1} および 930 cm^{-1} 付近の吸収ピークが小さくなっている。従って、注入されるイオンのドーズ量を増やすことにより、改質SOG膜7

に含まれる水分および水酸基が減少することがわかる。但し、ドーズ量； $1 \times 10^{14}\text{ cm}^{-2}$ の場合には、有機SOG膜6の形成直後よりも膜中に含まれる水分および水酸基が増大している。しかし、図44に示すプラズマ処理を施した場合に比べれば、その増大の割合は極めて小さい。

【0066】このように、本実施形態によれば、有機SOG膜7に含まれる水分および水酸基が増大されないため、有機SOG膜6をエッチバックする工程を設けることなく、ビアホール9においてボイズンドビアなどの不良が起こるのを防止することができる。従って、本実施形態によれば、有機SOG膜に酸素プラズマ処理を施す従来例に比べて製造工程が簡単になり、スループットを向上させることができる。

【0067】図9に、有機SOG膜6にアルゴンイオンが注入された直後の赤外吸収スペクトルをFT-IR法によって測定した結果を示す。尚、イオン注入の条件は、加速エネルギー；140keV、ドーズ量； $1 \times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$ である。

【0068】改質SOG膜7では、-CH（約 3000 cm^{-1} 付近）やSi-CH₃（ 1250 cm^{-1} 付近）に関する吸収ピークが見られない。これは有機SOG膜6中の有機成分が分解したことを示唆している。また、O-H（ 3500 cm^{-1} 付近）やSi-O（ 1100 cm^{-1} 付近）の吸収強度には、イオン注入前後で、あまり大きな変化が無いことも分かる。

【0069】アルゴンは不活性な元素であるので、注入されたイオン衝撃のエネルギーが、上記過程の主たる要因であると考えられる。さらに、図5に示すように、その他のイオンでも同様の結果が得られており、注入するイオン種に依存しない過程が主たる要因であることを示唆している。また、有機SOG膜6中に含まれている化学結合の結合エネルギー（Si-O：800kJ/mol、Si-C：452 kJ/mol、C-H：338kJ/mol、O-H：428kJ/mol）に着目すると、Si-Oの結合エネルギーは他の結合の2倍程度大きい。その結果として、Si-O結合の切断は顕著でなく、C-H結合が優先的に切断されていると考えられる。さらに、改質SOG膜7の赤外吸収スペクトルにおいて、 900 cm^{-1} 付近と $2100\sim 2300\text{ cm}^{-1}$ にも吸収ピークが新たに発生することが分かった。これらの吸収は、Si-H結合に関するものと考えられる。

【0070】<A-2. 炭素濃度(SIMS法)>図10に、イオン注入によって分解された有機成分（特に、炭素）の存在の有無を調べることを目的として、イオン注入前後の炭素濃度の深さ方向分布についてSIMS法を用いて評価した結果を示す。尚、イオン注入の条件は、加速エネルギー；140keV、ドーズ量； $1 \times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$ である。図10から、A-1. で述べたように有機成分が分解しても、ほとんどの炭素原子は膜中に残留していることが分かった。このとき、炭素濃度は膜中で均一であり、イ

オン注入前後で深さ分布の変化がないことが分かった。この結果は、炭素は揮発性化合物に変化せず、膜中に留まっていることを示唆している。また、その他のイオン（例えば、フッ素や窒素など）を注入した場合でも、炭素の濃度分布が変化せず、膜中に残留することを確認した。

【0071】尚、RBS (Rutherford Back Scattering method) による膜中の平均原子数の比は、有機SOG膜6ではO/Si:1.67, C/Si:0.3、改質SOG膜7ではO/Si:1.72, C/Si:0.3である。

【0072】一方、酸素プラズマ処理を用いて改質した場合、有機SOG膜6中の炭素（プラズマ処理前は $5 \times 10^{22} \text{cm}^{-3}$ ）が $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 程度に減少することが既に報告されている[C. K. Wang, L. M. Liu, H. C. Cheng, H. C. Huang, M. S. Lin, Proc. of IEEE VMIC, p. 101 (1994). 参照]。イオン注入法を用いた改質SOG膜7では、炭素がほとんど残留しているので、酸素プラズマ処理を用いた場合とは異なる特性をもつことが期待される。

【0073】<A-3. ダングリングボンド(ESR法)>図11に、有機SOG膜6にアルゴンイオンが注入された直後のダングリングボンドをESR法によって測定した結果を示す。尚、イオン注入の条件は、加速エネルギー:140keV、ドーズ量: $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ である。

【0074】有機SOG膜6では、基板表面に存在するPbセクタ($g=2.0064$)以外は観測されなかった。このときのPbセクタの面密度は $3.2 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ であった。一方、改質SOG膜7では、炭素のダングリングボンド($g=2.0025$)が観測されるようになる。このときの炭素のダングリングボンドの面密度は $3.0 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ であった。一方、図10の炭素濃度を深さ方向に積分すると炭素原子の面密度は、 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-2}$ となる。炭素には結合手が4本あるので、全ての炭素の結合手が未結合であった場合、 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-2}$ のダングリングボンドが存在することになる。ところが、実際に観測された炭素のダングリングボンドの面密度が $3.0 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ であることから、膜中炭素の結合手の99.85%は、膜中に存在する原子（水素、酸素、炭素、シリコン）と結合していることになる。さらに、図9では、炭素と水素の結合に関する吸収は観測されていないので、炭素同士で結合しているか、またはシリコンや酸素と結合していることが推察される。

【B. 改質SOG膜7の安定性】

<B-1. 耐熱性>耐熱性の指標として、まず、改質SOG膜7の膜厚減少に着目して評価した。図12に、有機SOG膜6にアルゴンイオンを注入して形成した改質SOG膜7を酸素雰囲気中で30分間の熱処理を施したときの膜厚変化について示す。尚、イオン注入の条件は、加速エネルギー:140keV、ドーズ量: $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ である。

【0075】有機SOG膜6に熱処理を施した場合、熱処理温度が高くなるに従って膜厚が減少する。この膜厚減少は、熱処理温度が高くなるにしたがって膜が緻密になることが原因であると考えられる。一方、改質SOG膜7は800℃で熱処理しても膜厚が減少しない。また、改質SOG膜7の膜厚は有機SOG膜6を800℃で熱処理した場合の膜厚と同程度になっている。これから、改質SOG膜7では、有機SOG膜6を800℃で熱処理した場合と同程度まで膜が緻密化していることがわかる。

【0076】<B-2. 熱脱離ガス特性>図13に、有機SOG膜6にアルゴンイオンを注入して形成した改質SOG膜7を酸素雰囲気中で30分間の熱処理を施し、FT-IR法を用いて評価した結果を示す。400℃以上の熱処理では、温度を上げるにしたがって、Si-Hに関する予測される吸収ピーク(900cm^{-1} 付近と $2100 \sim 2300 \text{cm}^{-1}$)が徐々に減少していることが分かる。

【0077】図14に、改質SOG膜7を酸素雰囲気中で30分間の熱処理を施し、TDS法を用いて評価した結果を示す。尚、イオン注入の条件は、加速エネルギー:140keV、ドーズ量: $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ である。

【0078】400℃以上の熱処理では水素の脱離が観測される。FT-IR法で観測されたSi-Hに関する予測される吸収ピークの挙動と傾向が一致するので、Si-Hから解離した水素がTDS分析で観測されたものと考えられる。この結果、 900cm^{-1} 付近と $2100 \sim 2300 \text{cm}^{-1}$ の吸収はSi-Hに関する吸収であると考えられる。このことは、これまでに報告されていない。

【0079】イオンを注入することで形成されるSi-H結合の形成過程には、イオン衝撃によって解離した水素(①メチル基を構成する炭素から解離した水素、②Si-OHまたは H_2O から解離した水素)が関係していると考えられる。すなわち、酸素や炭素が解離することによって形成されたシリコンのダングリングボンドを、①または②の水素が終端していると考えられる。

【0080】さらに、TDS法を用いて改質SOG膜7と有機SOG膜6とを比較したところ、改質SOG膜7における各 m/e の相対強度は、 H_2 ($m/e=2$):13、 CH_3 ($m/e=15$):0.1、 H_2O ($m/e=18$):0.1、 CO ($m/e=28$):2.4、 CO_2 ($m/e=44$):2.5である。一方、有機SOG膜6における各 m/e の相対強度は、 H_2 、 CH_3 、 H_2O 、 CO 、 CO_2 と同じ1.0である。このように、改質SOG膜7の方が、 H_2O ($m/e=18$)や CH_x ($m/e=14, 15$)に関する脱離が少なく、 H_2 ($m/e=2$)や CO_x ($m/e=28, 44$)が多いことが分かった。

【0081】<B-3. プラズマ耐性>酸素プラズマ耐性の指標として、改質SOG膜7の膜厚減少に着目して評価した。図15に、有機SOG膜6にアルゴンイオンを注入して形成した改質SOG膜7を酸素プラズマに晒したときの膜厚変化について示す。尚、イオン注入の条件は、加速エネルギー:140keV、ドーズ量: $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ である。

-2である。

【0082】有機SOG膜6を酸素プラズマに晒した場合、膜厚が16%減少したのに対して、改質SOG膜7を酸素プラズマに晒した場合は、膜厚が減少しないことが分かった。但し、改質SOG膜7の膜厚は有機SOG膜6に比べて25%減少している。以上の結果から、有機成分が分解して消滅するような条件でイオン注入した場合、酸素プラズマ耐性の優れた膜に改質されていることが分かった。また、酸素プラズマに晒した場合よりもイオン注入した場合の方が膜厚減少が大きいことから、イオン注入した方が膜の密度が大きいと考えられる。

【0083】次に、イオン注入法を用いて膜表面だけを改質した場合のアッシング耐性を評価した。図16に、アッシング処理前後の赤外吸収スペクトルをFT-IR法で測定した結果を示す。アッシングは、 μ 波ダウン・フローを用いて、膜厚10 μ mのレジストを除去できる条件で行った。図16から、注入エネルギー20keVでアルゴンイオンを注入した場合、改質SOG膜の内部の有機SOG膜は改質されずに残っていることが分かった。さらに、この試料に対してアッシング処理を施しても、下地の有機SOG膜6のメチル基の量に変化しないことが分かった。この結果、イオンをドーピングする深さが極浅い領域であっても、アッシング耐性が向上することが分かった。

【0084】<B-4. 水分透過性と吸湿性>有機SOG膜6を酸素プラズマに晒すと有機成分が分解することが知られているが、その場合には、膜中水分が増大することが既に報告されている[C. K. Wang, L. M. Liu, H. C. Cheng, H. C. Huang, M. S. Lin, Proc. of IEEE VMIC, p.101 (1994). 参照]。

【0085】そこで、イオン注入で改質された改質SOG膜7、酸素プラズマに晒すことによって改質された有機SOG膜6、改質していない有機SOG膜6の吸湿性について比較した。図17に、それぞれの改質処理前後、および改質後にクリーンルーム内で大気中に放置し、膜中の水分を評価した結果を示す。膜中の水分量は、赤外吸収スペクトルのO-Hに関する吸収(3500 cm^{-1} 付近)の面積強度を指標とした。このときのイオン種はアルゴンであり、注入エネルギーは140keVである。酸素プラズマに晒した場合、処理前後での水分増加だけでなく、1日後でも水分が増加していることが分かる。一方、イオン注入の場合には、イオン注入後に増加していないだけでなく、クリーンルーム内で大気中に放置しても水分の増加は小さい。さらに、イオン注入した場合、改質しなかったものよりも吸湿が少なかった。

【0086】イオン注入した場合に吸湿が少ない原因として、以下の膜構造が関係していると考えられる。

(1) B-2. で述べたように、イオン注入した膜中に多くのSi-H結合をもつ[M. Doki, H. Watanabe, Y. Furumura, Proc. of IEEE VMIC, p. 235 (1994). 参照]。

【0087】(2) B-1. およびB-3. で述べたように、イオン注入した膜の密度が最も高く、緻密な構造である[下川, 宇佐見, 時藤, 平下, 吉丸, 信学技報, Vol. 92, No. 369, SDM92-133 (1992) p. 89. 参照]。

【0088】図18に、改質SOG膜7の水分の透過性について調べる目的で、PCT (120 $^{\circ}\text{C}$, 2気圧の飽和蒸気圧雰囲気) した結果を示す。FT-IR法を用いて、有機SOG膜6中のO-Hに関する吸収ピーク(3500 cm^{-1} 付近)の面積強度を求め、PCT時間との関係をプロットした。イオン注入法を用いて極表面だけを改質した試料(Ar^{+} 20keV)を作製し、膜全体を改質したもの(Ar^{+} 140keV)や改質しなかったものと比較した結果、以下のことが分かった。

【0089】(1) 改質していない有機SOG膜6をPCTした場合、3500 cm^{-1} 付近(O-Hに関する)の吸収強度が劇的な増加を示す。

(2) 改質した膜では、3500 cm^{-1} 付近(O-Hに関する)の吸収強度の増加は小さい。膜表面だけを改質した試料でも、膜全体を改質したものと同程度である。

【0090】(3) 膜表面だけを改質した場合、膜内部には改質されていない部分が存在するので、PCTして膜内部の未改質の部分まで水分が到達すると(1)のような変化を示すことが予測される。しかし、今回のPCT時間の範囲(60時間後まで)では変化は小さかった。

【0091】以上の結果から、イオンを注入することで水分の透過性を抑制する層を形成できたと考えられる。

〔C. 電気的特性(誘電率)〕図19に、MOSキャパシタの蓄積容量値と断面SEM法による観察から得られた膜厚を用いて、比誘電率を算出した結果を示す。有機SOG膜6の比誘電率は3.1であり、イオンを注入しないで酸素プラズマ処理を施した有機SOG膜6は、高誘電率化(比誘電率が6.9)していた。これは、膜中に水分が多く含まれていることが原因であると考えられる[k. Murase, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 33, p. 1385 (1994). 参照]。それに対して、どのイオン(B^{+} , N^{+} , F^{+} , P^{+} , Ar^{+})を注入して改質した改質SOG膜7も、比誘電率は3.5前後になることが分かった。この結果は、それぞれのイオン種が電氣的に有効な状態で無いことを示唆している。誘電率が比較的低い原因は不明であるが、今後、改質された有機SOG膜6中に残留している炭素の構造について考察していく必要があると考えている。

【0092】〔D. ピア・ホール形状〕図20～図25は、ピアホール9の断面状態を断面SEM法で観察した顕微鏡写真である。図20は有機SOG膜6にイオン注入を行わない場合、図21は有機SOG膜6にフッ素イオンを注入した場合(加速エネルギー; 100keV、ドーズ量; $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$)、図22は有機SOG膜6に窒素イオンを注入した場合(加速エネルギー; 80keV、ドーズ量; $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$)、図23は有機SOG膜6にアルゴ

ンイオンを注入した場合(加速エネルギー; 140keV、ドーズ量; $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$)、図24は有機SOG膜6にリンイオンを注入した場合(加速エネルギー; 140keV、ドーズ量; $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$)、図25は有機SOG膜6に酸素プラズマ処理が施された場合(酸素プラズマ処理の条件は図44におけるそれと同じ)を示す。

【0093】図20に示すように、有機SOG膜6に何の処理も行われない場合には、リセスが発生している。しかし、図21～図24に示すように有機SOG膜6にイオン注入が行われた場合には、図25に示す酸素プラズマ処理が施された場合と同様に、リセスは発生していない。この結果からも、改質SOG膜7には有機成分が含まれていないことがわかる。また、窒素イオンの注入についても、上記の各イオンと同様の効果があることがわかる。

【0094】上記のA.～D.の結果をまとめると以下のようになる。改質SOG膜7の構造に関して以下のことが分かった。

(1) C-H結合は減少する。

【0095】(2) Si-O結合の減少は比較的小さい。

(3) Si-H結合が存在する。

(4) 炭素は膜中に残留している。

【0096】(5) 膜中のダングリングボンドの数のほとんどが炭素のものである。

(6) ダングリングボンドの数は膜中の炭素原子の数より2桁程度少ない。

改質SOG膜7の安定性について、イオンを注入しなかった有機SOG膜6の結果と比較して、以下のことが分かった。

【0097】(1) 耐熱性では、800℃まで膜厚減少がない。昇温しても水やCH_xの脱離量は少ない。但し、水素や炭素酸化物は比較的多く脱離する。

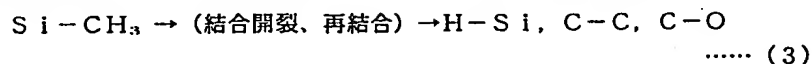
(2) プラズマ(特にレジストのアッシング条件)に晒しても、膜収縮が生じない。

【0098】(3) 吸湿性は小さく、水分の透過は少なくなる。

改質SOG膜7の誘電率に関して以下のことが分かった。

(1) イオンを注入すると誘電率は高くなる。

【0099】(2) 注入するイオンに依存せず、比誘電率は3.5になった。改質SOG膜7を層間絶縁膜として適用した場合、図2(c)に示すようにビアホール9の側壁に改質SOG膜7が露出する構造であっても、図21～図25に示すようにリセスが発生することなく良好なビアホール9の断面形状が得られることを確認した。



一方、酸素プラズマによるメチル基の分解は、式(4)で表される。



【0100】次に、上記のA.～D.を補完するために、以下の各種特性について調べた結果を述べる。図26および図27に、改質SOG膜7におけるドーズ量の違いによる高周波CV特性の変化を示す。これより、ドーズ量は $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 以上必要であることがわかる。

【0101】図28に、改質SOG膜7におけるリーク電流のドーズ量依存性を示す。但し、有機SOG膜6の膜厚は、イオン注入無し、ドーズ量; $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$, $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$ については2500Åであり、ドーズ量; $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ については3000Åである。ドーズ量; $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ では、有機SOG膜の膜厚が厚いにも関わらずリーク電流が多いことから、膜質が悪いことがわかる。

【0102】図29に、改質SOG膜7におけるドーズ量の違いによる赤外吸収スペクトルの変化を示す。イオン注入無し(有機SOG膜6)、ドーズ量; $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ ではC-Hのピークが大きく、有機成分が多く残っている。また、ドーズ量; $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ ではO-Hのピークが大きいため、膜が水分を吸収するか又は膜中で水分が生成されていることがわかる。それに対して、ドーズ量; $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$, $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$ ではO-Hのピークが小さいことから、水分が少ない良質な膜であることがわかる。

【0103】図30に、改質SOG膜7の熱処理による高周波CV特性の変化を示す。改質SOG膜7は熱処理を施しても特性カーブがほとんど変化しないことから、熱的に安定であることがわかる。但し、熱処理を施すと、ヒステリシスは若干大きくなる。

【0104】図31に、熱処理温度の違いによる酸素プラズマ耐性を示す。改質SOG膜7は酸素プラズマ処理を施して熱処理温度を上げても誘電率がほとんど変化しない。これより、良質で安定な膜であることがわかる。

【0105】図32に、ドーズ量の違いによる酸素プラズマ耐性を示す。ドーズ量; $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ では酸素プラズマ処理を施すと誘電率が大幅に増加し、イオン注入無し(有機SOG膜6)と同程度になる。これより、酸素プラズマ耐性を向上させるには、有機SOG膜6中の有機成分をイオン注入によって分解することが重要であることがわかる。

【0106】図33に、改質SOG膜7のXPS(X-ray Photoemission Spectroscopy)スペクトル(C1s)を示す。改質SOG膜7中にはC-C結合およびC-O結合が存在する。これより、前記した図17における推察が正しいことがわかる。

【0107】尚、イオン注入によるメチル基の分解は、式(3)で表される。

【0108】

図26～図30に示す結果をまとめると以下のようになる。

(1) 改質SOG膜7は、ドーズ量； $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 以上において、ヒステリシスの小さい良質な膜となる。

【0109】(2) 改質SOG膜7のリーク電流は、有機SOG膜6と比べて小さくなる。

(3) 改質SOG膜7は酸素プラズマに暴露されても膜質の劣化が少ない。

(4) 改質SOG膜7の誘電率は約3.5になり、酸素プラズマの暴露および熱処理によって変化しない。

【0110】(5) 注入するイオン種に依存せず、改質SOG膜7の誘電率は約3.5になる。

(6) 改質SOG膜7中に残留する炭素は、新たにC-C結合やC-O結合を形成する。

【0111】(7) 改質SOG膜7の構造は、有機SOG膜6に酸素プラズマ処理を施した場合の構造とは異なる。

次に、図26～図30に示す各種特性を補完するために、以下の各種特性について調べた結果を述べる。

【0112】図34に、有機SOG膜6にアルゴンイオンを注入して形成した改質SOG膜7を酸素プラズマに晒して窒素雰囲気中で熱処理を行った場合に、アルゴンイオンのドーズ量を変化させたときの膜厚変化について示す。尚、酸素プラズマ処理の条件は、マイクロウェーブダウンフロー装置を用い、マイクロウェーブ出力；1000W、ガス種；酸素、窒素、水素の混合ガス、圧力；400Pa、処理温度；220℃、処理時間；2.5minである。熱処理の条件は、処理温度；300～800℃、処理時間；30minである。また、イオン注入の加速エネルギー；140keVである。

【0113】図15に関して説明したように、有機SOG膜6を酸素プラズマに晒した場合には膜厚が大きく減少する。また、改質SOG膜7を酸素プラズマに晒した場合でも、ドーズ量； $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ のときにはやはり膜厚が減少する。従って、酸素プラズマに晒した際における改質SOG膜7の膜収縮を防止するには、ドーズ量； $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 以上必要なことがわかる。

【0114】図35は、アルゴンイオンのドーズ量； $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 、加速エネルギー；20keVの場合におけるピアホール9の断面状態を断面SEM法で観察した顕微鏡写真である。また、図36は、アルゴンイオンのドーズ量； $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 、加速エネルギー；90keVの場合におけるピアホール9の断面状態を断面SEM法で観察した顕微鏡写真である。

【0115】図35および図36ではリセスが発生しているのに対し、図23（加速エネルギー；140keV）ではリセスが発生していない。これらの結果から、改質SOG膜7の膜収縮を防止するには、アルゴンイオンのドーズ量； $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 以上、加速エネルギー；140keV以上必要であることが分かる。

【0116】図37に、図14と同様の条件で H_2O ($m/e=18$)についてTDS法を用いて評価した結果を示す。図14に関して説明したように、改質SOG膜7は H_2O ($m/e=18$)や CH_3 ($m/e=15$)に関する脱離が少ないことが分かる。

【0117】図38および図39は、ピアホール9内にタングステンプラグを形成した場合の断面状態を断面SEM法で観察した顕微鏡写真である。図38は有機SOG膜6にイオン注入を行わない場合、図39は有機SOG膜6にアルゴンイオンを注入して改質SOG膜7を形成した場合（ドーズ量； $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 、加速エネルギー；140keV）である。

【0118】図38に示すように、アルゴンイオンを注入しない場合にはピアホール9内にタングステンプラグが埋め込まれていない。これは、有機SOG膜6から H_2O や CH_3 が脱離したためであると考えられる。一方、図39に示すように改質SOG膜7ではピアホール9内がタングステンプラグで完全に埋め込まれている。これは、図14および図37に示すように、改質SOG膜7では H_2O や CH_3 に関する脱離が少ないためであると考えられる。

【0119】図40は、改質SOG膜7に狭い間隔でメタルトレンチを形成した場合の断面状態を断面SEM法で観察した顕微鏡写真である。改質SOG膜7は平坦性が高い上に、膜に割れや剥がれなどが生じていないことが分かる。

【0120】図41に、タングステンプラグまたはアルミ電極が形成されたピアホール9を1000個シリーズに接続した場合の抵抗値のばらつきを示す。図41(a)は有機SOG膜6にイオン注入を行わないでピアホール9およびアルミ電極を形成した場合、図41(b)はアルゴンイオンを注入した改質SOG膜7にピアホール9およびアルミ電極を形成した場合、図41(c)はアルゴンイオンを注入した改質SOG膜7にピアホール9およびタングステンプラグを形成した場合である。尚、ピアホール9の直径は0.7 μm である。改質SOG膜7の場合の抵抗値は、有機SOG膜6の場合の抵抗値に比べてはるかに小さくなっていることが分かる。

【0121】図42に、改質SOG膜7中のダングリングボンド、炭素原子、炭素のダングリングボンドの各密度を示す。改質SOG膜7中のダングリングボンドの密度は、炭素原子の密度よりも2桁も小さくなっていることが分かる。

【0122】図43に、有機SOG膜6を300℃で熱処理した後にアルゴンイオンを注入して改質SOG膜7を形成した場合の密度の変化を示す。改質SOG膜7の密度は、密度が高い膜として知られているPE-TEOS膜と比べてもさらに高くなっていることが分かる。

【0123】以上詳述したように、改質SOG膜7を作製するために有機SOG膜6に注入するイオンに関し

て、以下の作用および効果を得ることができる。

①上記の各イオン（フッ化シリコンイオン、フッ化ボロンイオン、アルゴンイオン、リンイオン、シリコンイオン、ボロンイオン、フッ素イオン、窒素イオン）のうち、フッ素イオン単体を除く各イオンについては、アルミを腐食させる性質、ゲート絶縁膜 2 を低誘電率化させる性質、ソース・ドレイン領域 4 におけるリンまたはボロンの不純物拡散を抑制させる性質、のいずれも有していない。従って、これらのイオン（フッ化シリコンイオン、フッ化ボロンイオン、アルゴンイオン、シリコンイオン、ボロンイオン、窒素イオン）を有機 SOG 膜 6 に注入すれば、前記したフッ素イオンに関する問題点を回避することができる。その結果、配線にアルミが用いられた場合でも、その配線が腐食されることはない。また、ゲート絶縁膜 2 が低誘電率化されることはない。そして、ソース・ドレイン領域 4 がリンまたはボロンの不純物拡散によって形成されている場合でも、その不純物拡散が抑制されることはない。従って、MOS トランジスタの素子特性を設計値通りにすることができる。

【0124】②リンイオンおよびリンの化合物イオンについては、有機 SOG 膜 6 中の水分とリンとが反応してリン酸 (H_3PO_4) が生成されることがあり、そのリン酸によってアルミが腐食される恐れがある。また、シリコンイオンおよびシリコンの化合物イオンについては、改質 SOG 膜 7 の導電性が高くなる恐れがある。従って、リンイオン、リンの化合物イオン、シリコンイオン、シリコンの化合物イオンについては、フッ素イオン単体ほどではないにしても、有機 SOG 膜 6 へ注入するイオンとしてはあまり望ましくないといえる。

【0125】③シリコンおよびシリコンの化合物イオンについては、改質 SOG 膜 7 の導電性が高くなり、層間絶縁膜としての性能が劣化する。

④フッ素の化合物イオンは、フッ素イオン単体に比べて分子量が大きく拡散し難いため、フッ素イオン単体に比べて前記各性質が弱くなる。従って、フッ素の化合物イオンについても、前記したフッ素イオンに関する問題点を回避することができる。

【0126】⑤上記①～④をまとめると、有機 SOG 膜 6 に注入するイオンとしては、フッ素の化合物イオン（フッ化シリコンイオン、フッ化ボロンイオンなど）、アルゴンイオン、ボロンイオン、窒素イオンが適している。

【0127】ところで、有機 SOG 膜 6 に注入するイオンとして、上記⑤の各イオン以外に以下に示す各イオンがあげられる。

[1] アルゴン以外の不活性ガスイオン（ヘリウムイオン、ネオンイオン、クリプトンイオン、キセノンイオン、ラドンイオン）。不活性ガスイオンは有機 SOG 膜 6 と反応しないため、イオン注入によって悪影響が生じる恐れが全くない。

【0128】[2] ボロンおよび窒素以外の III b, IV b, V b, VI b, VII b の各族の元素単体イオンおよびそれらの化合物イオン。特に、酸素、アルミ、イオウ、塩素、ガリウム、ゲルマニウム、ヒ素、セレン、臭素、アンチモン、ヨウ素、インジウム、スズ、テルル、鉛、ビスマスの元素単体イオンおよびそれらの化合物イオン。この中で、金属元素イオンについては、改質 SOG 膜 7 の誘電率が低下する可能性がある。しかし、その誘電率の低下はごく僅かであるため、特に高い誘電率の層間絶縁膜が要求される場合以外には実用上問題ない。

【0129】[3] IV a 族, V a 族の元素単体イオンおよびそれらの化合物イオン。特に、チタン、バナジウム、ニオブ、ハフニウム、タンタルの元素単体イオンおよびそれらの化合物イオン。IV a, V a 族の元素の酸化物は誘電率が高いため、改質 SOG 膜 7 の誘電率を高くすることができる。

【0130】[4] 上記の各イオンを複数種類組み合わせで用いる。この場合、各イオンの相乗作用によりさらに優れた効果を得ることができる。尚、上記各実施形態は以下のように変更してもよく、その場合でも同様の作用および効果を得ることができる。

【0131】(1) 各シリコン酸化膜 5, 8 を、プラズマ CVD 法以外の方法（常圧 CVD 法、減圧 CVD 法、ECR (Electron Cyclotron Resonance) プラズマ CVD 法、光励起 CVD 法、TEOS-CVD 法、PVD (Physical Vapor Deposition) 法など）によって形成する。この場合、常圧 CVD 法で用いられるガスはモノシランと酸素 ($SiH_4 + O_2$) であり、成膜温度は 400℃以下である。また、減圧 CVD 法で用いられるガスはモノシランと亜酸化窒素 ($SiH_4 + N_2O$) であり、成膜温度は 900℃以下である。

【0132】(2) 各シリコン酸化膜 5, 8 を、水分および水酸基を遮断する性質に加えて絶縁性および機械的強度が高い性質をもつ他の絶縁膜（シリコン窒化膜、シリケートガラス膜など）に置き代える。その絶縁膜は CVD 法や PVD 法などのような方法によって形成してもよい。

【0133】(3) ソース・ドレイン電極 10 および配線 23 を、アルミ以外の導電材料（銅、金、銀、シリサイド、高融点金属、ドーパドポリシリコン、窒化チタン (TiN)、タングステンチタン (TiW) などの合金) およびそれらの積層構造で形成する。

【0134】(4) 改質 SOG 膜 7 に熱処理を施す。この場合、改質 SOG 膜 7 中のダングリングボンドが少なくなるため、吸湿性がさらに小さくなり、水分の透過もさらに少なくなる。

【0135】(5) 有機 SOG 膜 6 の組成を一般式 (2) で表されるものに置き代える。

(6) 有機 SOG 膜 6 を一般式 (1) で表される無機 SOG 膜に置き換え、その無機 SOG 膜にイオン注入を行

う。この場合には、無機SOG膜に含まれる水分および水酸基を低減させることができる。

【0136】(7)改質SOG膜7をパッシベーション膜として使用する。この場合、デバイスを機械的・化学的に確実に保護することが可能な優れたパッシベーション膜を得ることができる。

【0137】(8)改質SOG膜7を多層配線構造における各配線間の各層間絶縁膜に用いる場合、有機SOG膜6へのイオン注入は以下のどちらの方法を用いてもよい。

(a) 各層の改質SOG膜6を形成する度にイオン注入を行う。例えば、2層の改質SOG膜7を形成する場合には、1層目の配線の上に1層目の有機SOG膜6を形成後にイオン注入を行って1層目の改質SOG膜7を形成し、次に、2層目の配線を形成し、続いて、2層目の配線の上に2層目の有機SOG膜6を形成後にイオン注入を行って2層目の改質SOG膜7を形成する。

【0138】(b) 全層の改質SOG膜6を形成した後で一括してイオン注入を行う。例えば、2層の改質SOG膜7を形成する場合には、1層目の配線の上に1層目の有機SOG膜6を形成し、次に、2層目の配線を形成し、続いて、2層目の配線の上に2層目の有機SOG膜6を形成し、最後に、デバイス表面にイオン注入を行うことで、1層目および2層目の有機SOG膜6をそれぞれ改質SOG膜7にする。

【0139】以上、各実施形態について説明したが、各実施形態から把握できる請求項以外の技術思想について以下に記載する。

(イ) 請求項1～5のいずれか1項に記載の半導体装置の製造方法において、前記SOG膜の下層に絶縁膜を形成する工程と、前記SOG膜の上層に絶縁膜を形成する工程とを備えた半導体装置の製造方法。

【0140】(ロ) 請求項6に記載の半導体装置において、前記SOGの下層に形成された絶縁膜と、前記SOG膜の上層に形成された絶縁膜とを備えた半導体装置。このようにすれば、上層および下層の絶縁膜でSOG膜が挟まれたサンドウィッチ構造の層間絶縁膜を形成することができる。

【0141】

【発明の効果】

1) SOG膜に含まれる水分および水酸基を減少させることが可能な半導体装置の製造方法を提供することができる。

【0142】2) SOG膜に含まれる有機成分を分解させると共に、膜中に含まれる水分および水酸基を減少させることが可能な半導体装置の製造方法を提供することができる。

【0143】3) 平坦性に優れ、ポイズンドピアなどの不良を回避することが可能な層間絶縁膜を備えた半導体装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施形態の製造方法を説明するための概略断面図。

【図2】第1実施形態の製造方法を説明するための概略断面図。

【図3】第2実施形態の製造方法を説明するための概略断面図。

【図4】第2実施形態の製造方法を説明するための概略断面図。

【図5】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図6】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図7】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図8】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図9】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図10】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図11】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図12】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図13】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図14】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図15】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図16】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図17】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図18】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図19】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図20】第1, 2実施形態のデバイスの断面状態を示す顕微鏡写真。

【図21】第1, 2実施形態のデバイスの断面状態を示す顕微鏡写真。

【図22】第1, 2実施形態のデバイスの断面状態を示す顕微鏡写真。

【図23】第1, 2実施形態のデバイスの断面状態を示す顕微鏡写真。

【図24】第1, 2実施形態のデバイスの断面状態を示す顕微鏡写真。

【図25】第1, 2実施形態のデバイスの断面状態を示す顕微鏡写真。

【図26】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図27】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図28】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図29】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図30】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図31】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図32】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図33】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図34】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図35】第1, 2実施形態のデバイスの断面状態を示す顕微鏡写真。

【図36】第1, 2実施形態のデバイスの断面状態を示す顕微鏡写真。

【図37】第1, 2実施形態を説明するための特性図。

【図 38】第 1, 2 実施形態のデバイスの断面状態を示す顕微鏡写真。

【図 39】第 1, 2 実施形態のデバイスの断面状態を示す顕微鏡写真。

【図 40】第 1, 2 実施形態のデバイスの断面状態を示す顕微鏡写真。

【図 41】第 1, 2 実施形態を説明するための特性図。

【図 42】第 1, 2 実施形態を説明するための特性図。

【図 43】第 1, 2 実施形態を説明するための特性図。

【図 44】従来例を説明するための特性図。

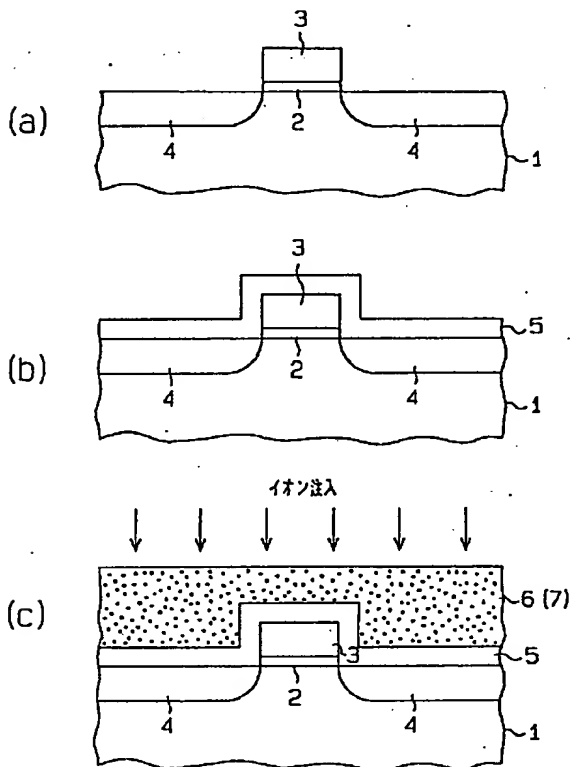
【符号の説明】

6…有機 SOG 膜

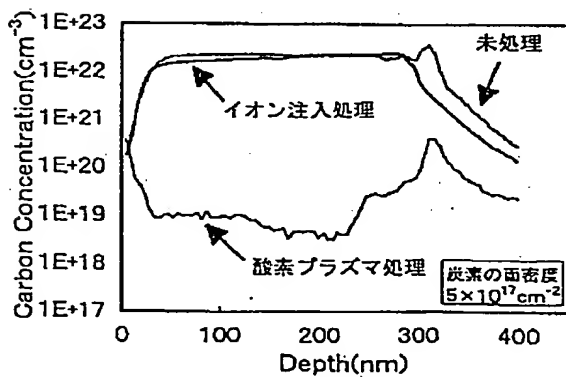
7…改質 SOG 膜

11…層間絶縁膜

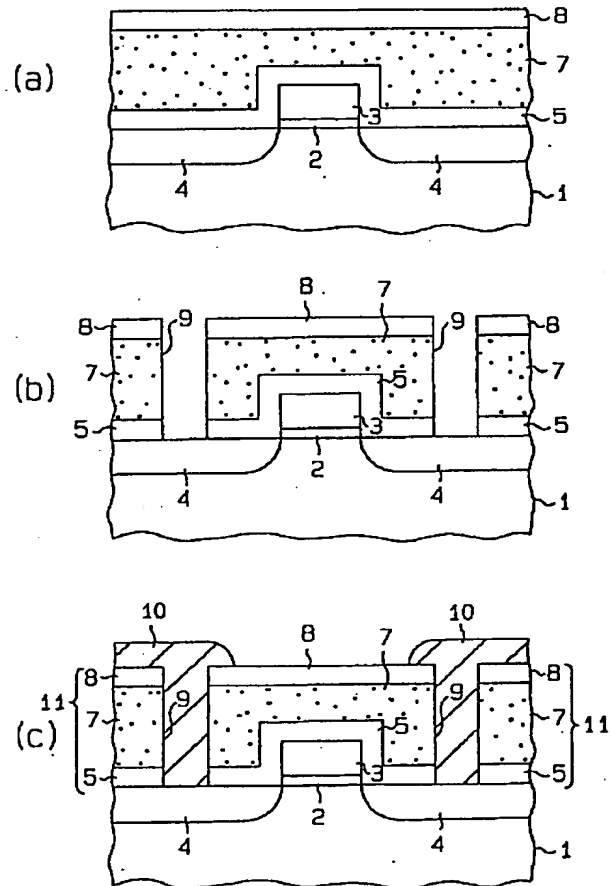
【図 1】



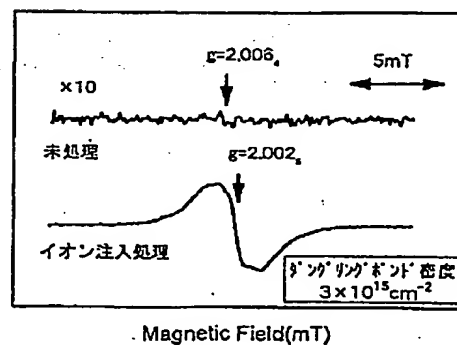
【図 10】



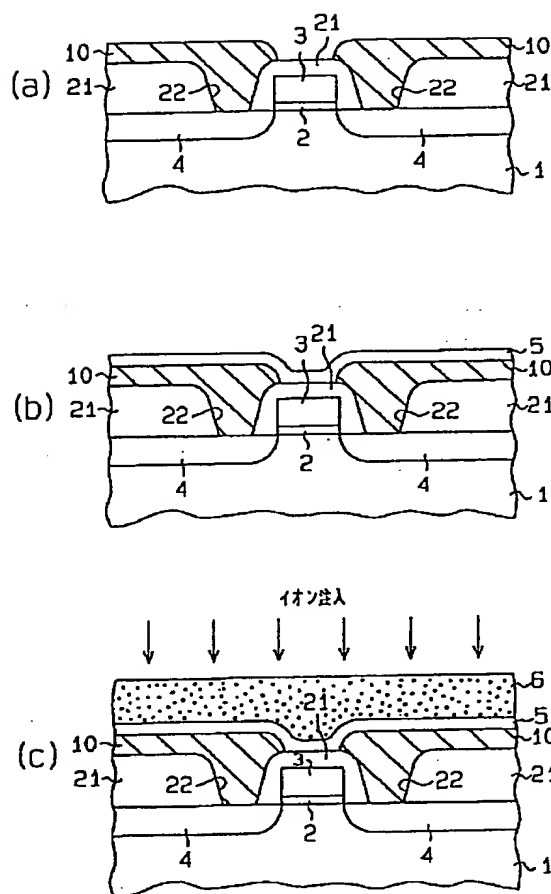
【図 2】



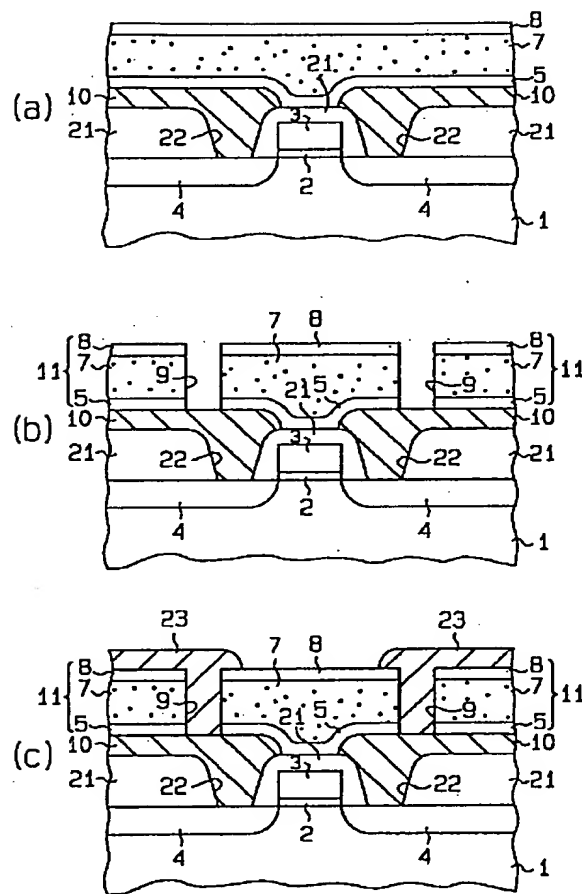
【図 11】



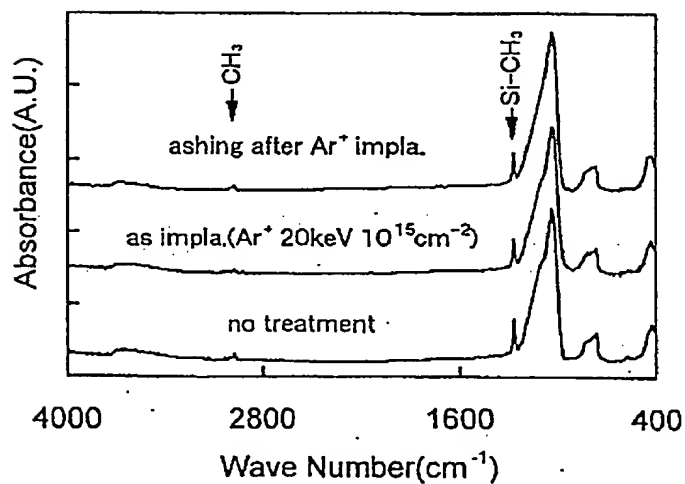
【図 3】



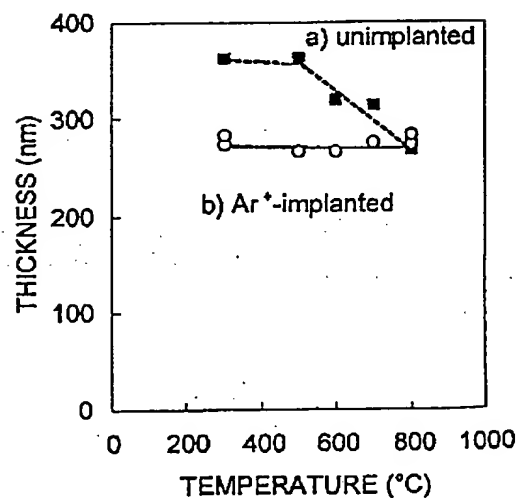
【図 4】



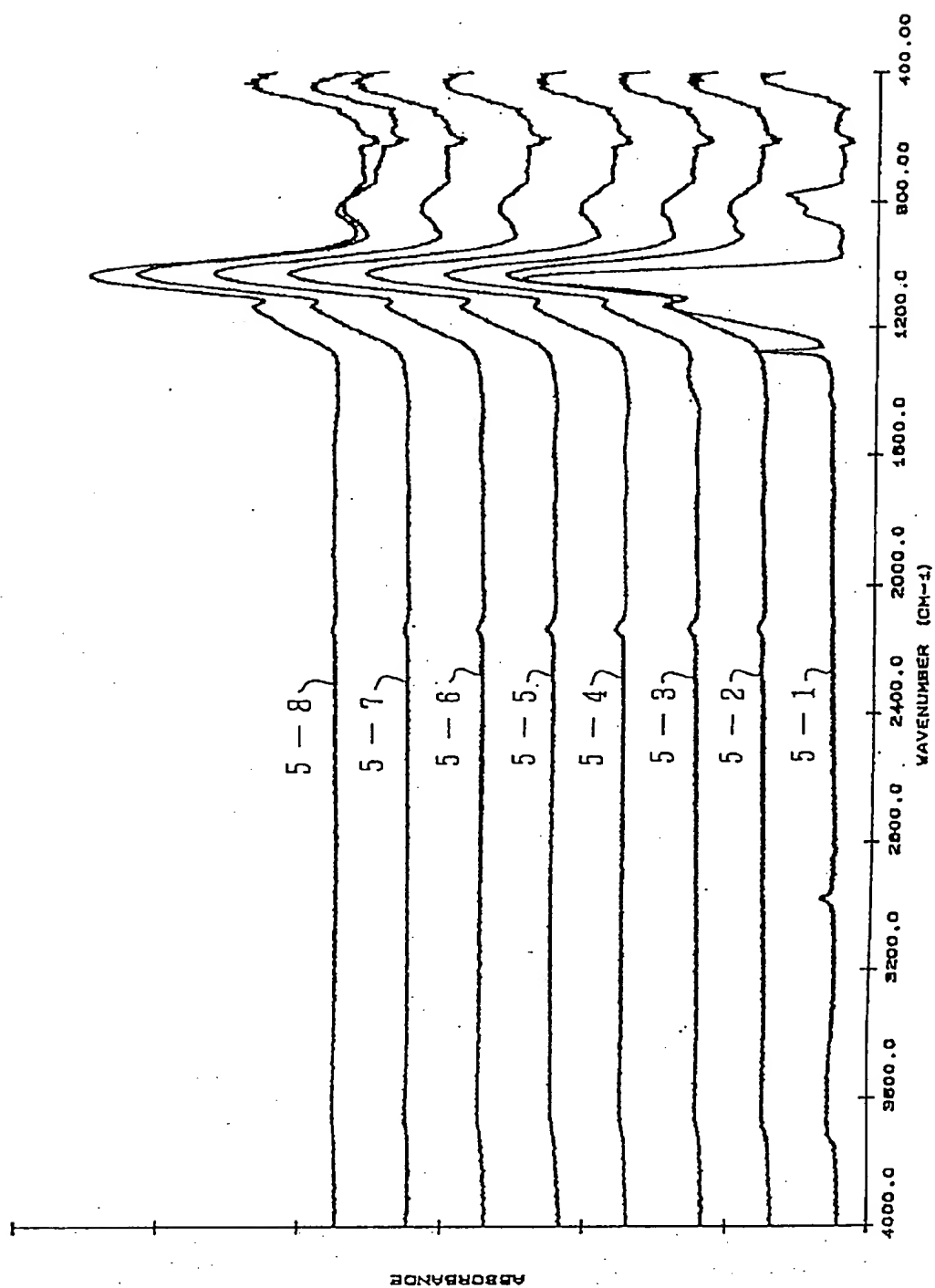
【図 9】



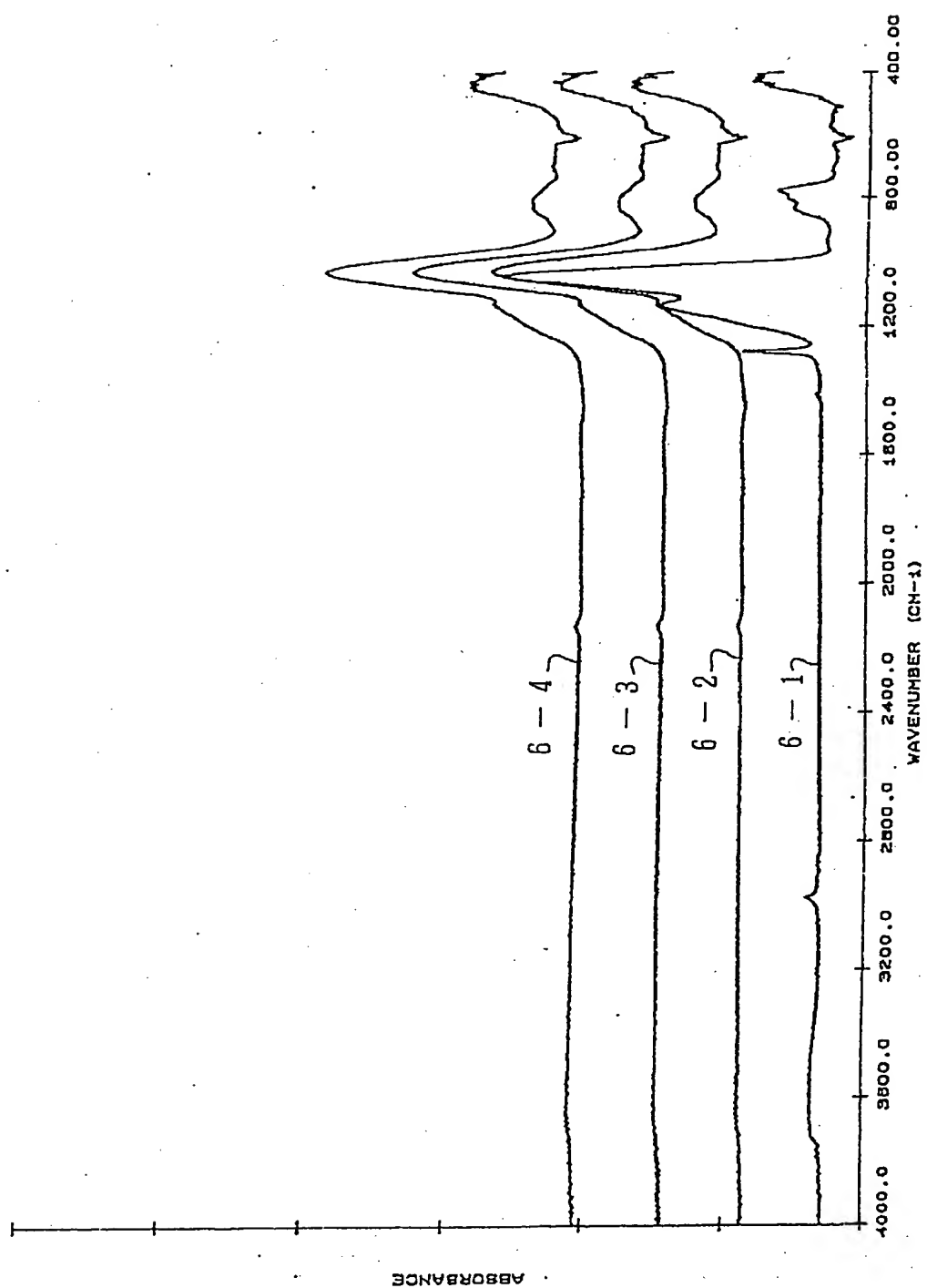
【図 12】



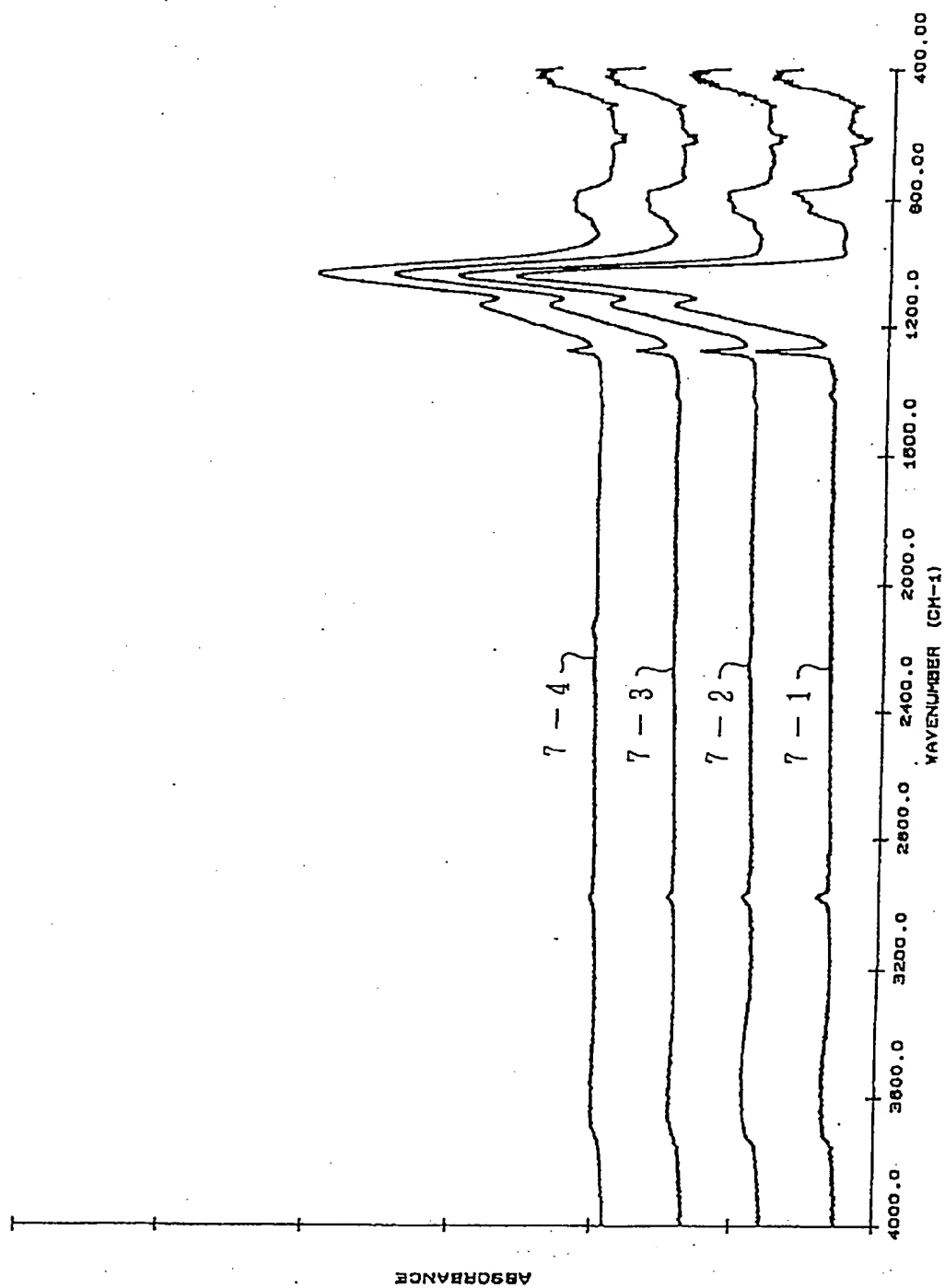
【図 5】



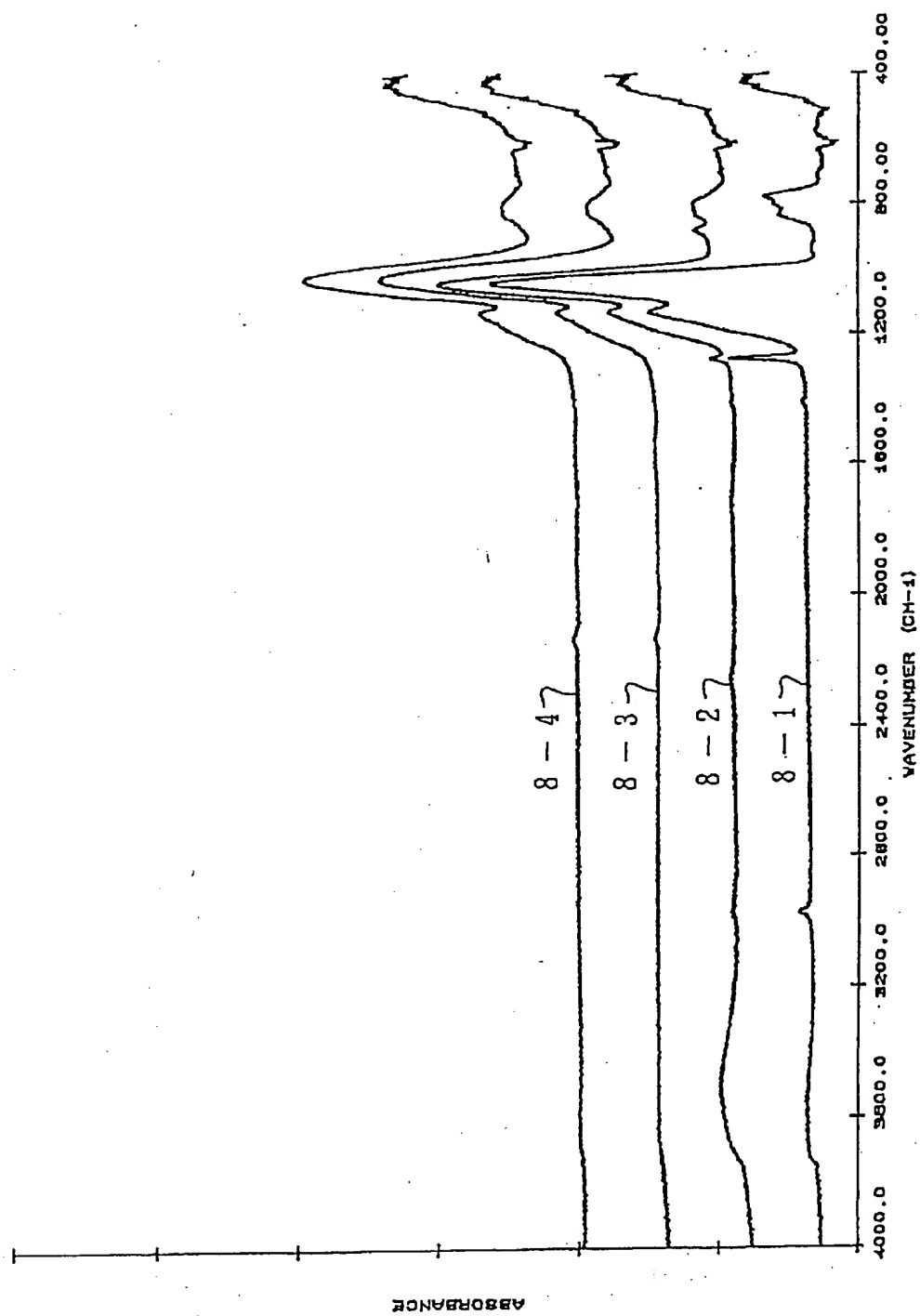
【図 6】



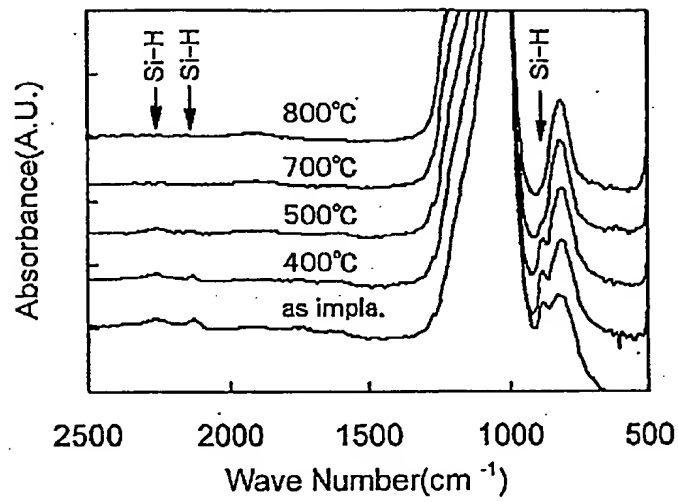
【図 7】



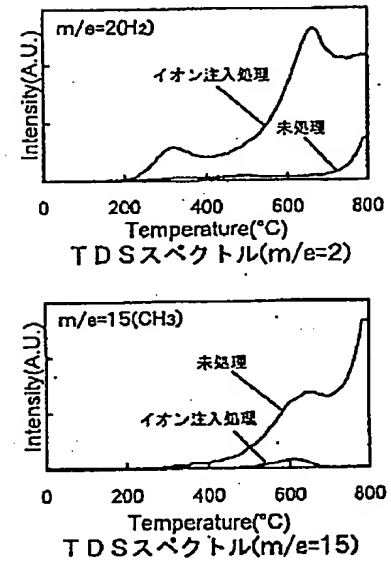
【図 8】



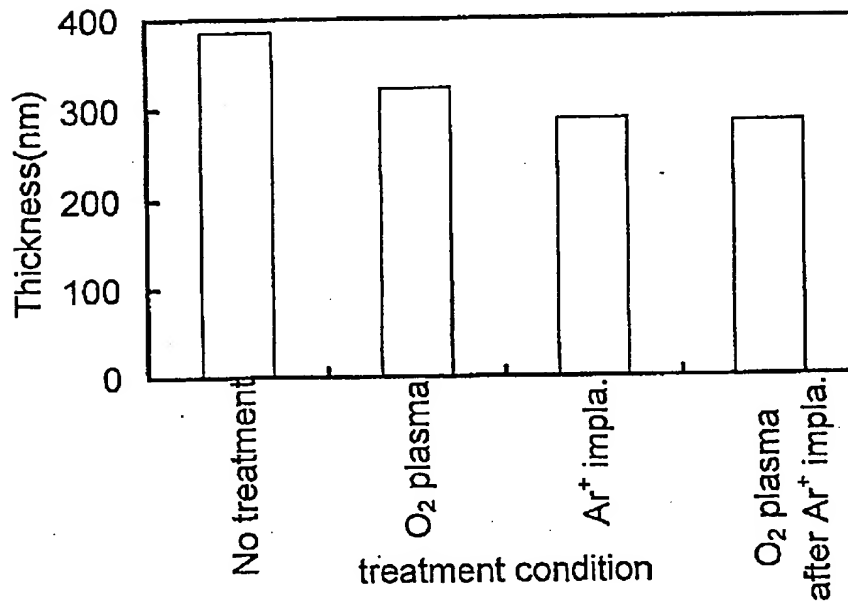
【図 13】



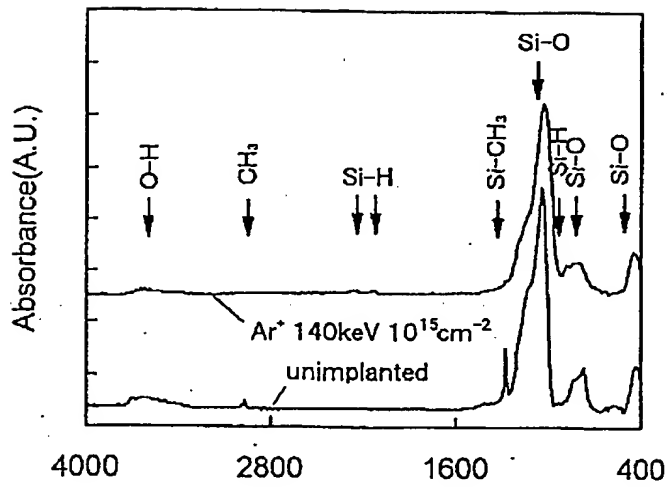
【図 14】



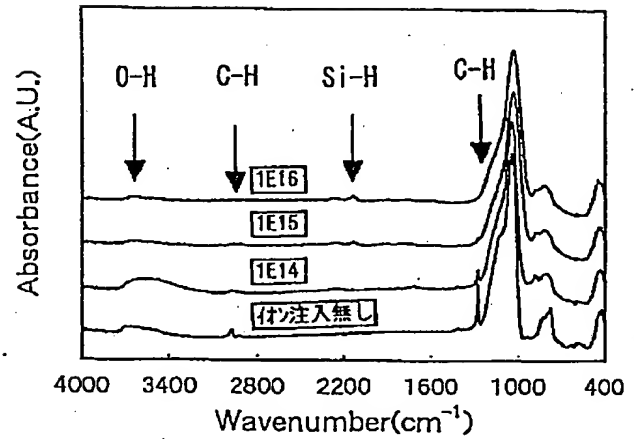
【図 15】



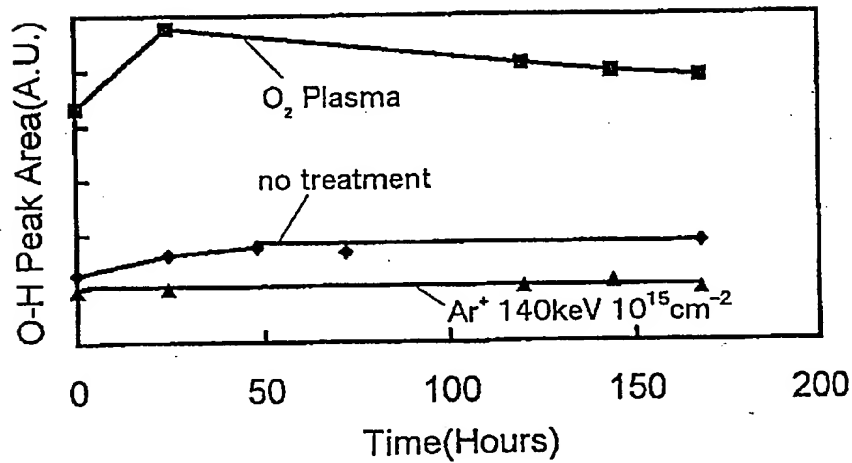
【図 16】



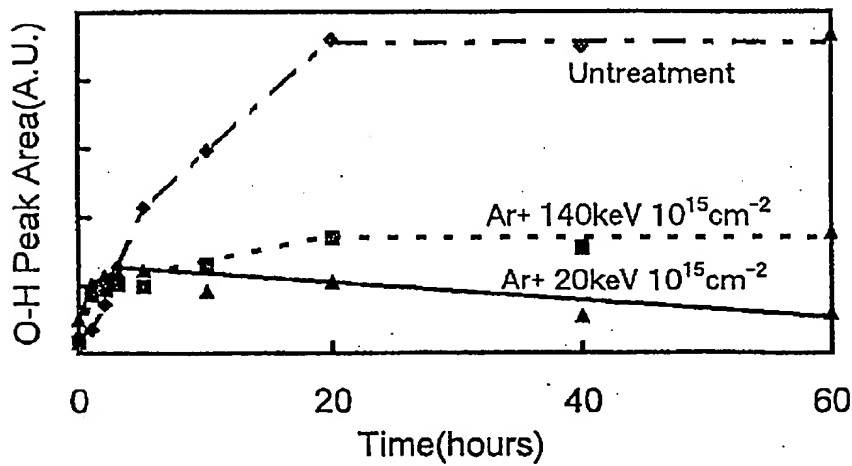
【図 29】



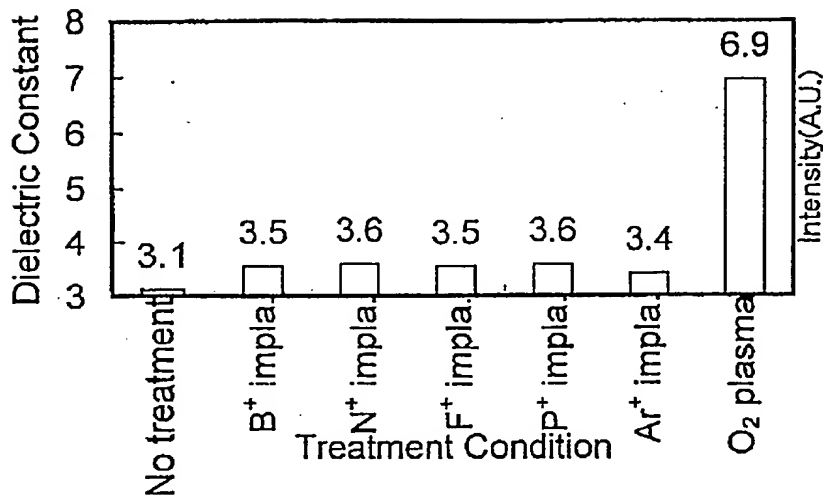
【図 17】



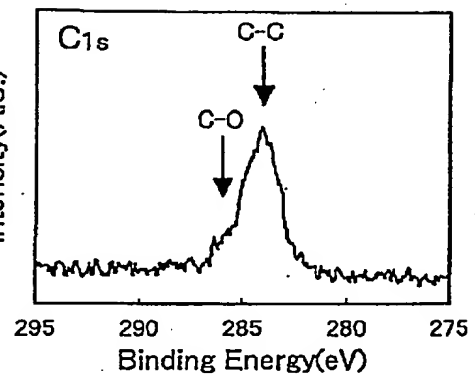
【図 18】



【図 19】

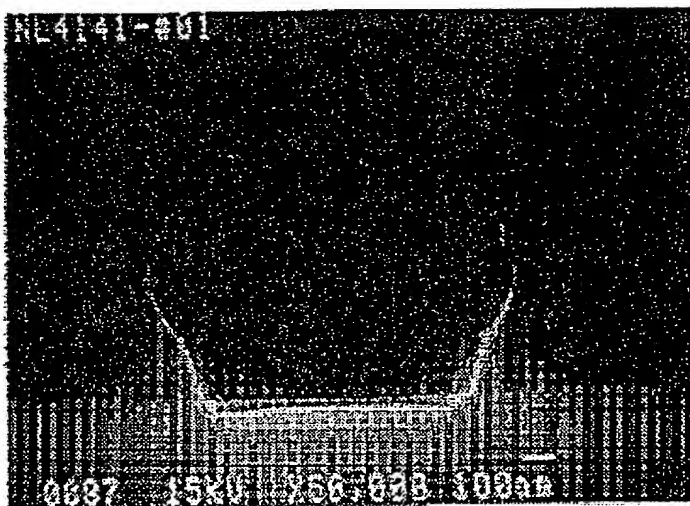


【図 33】

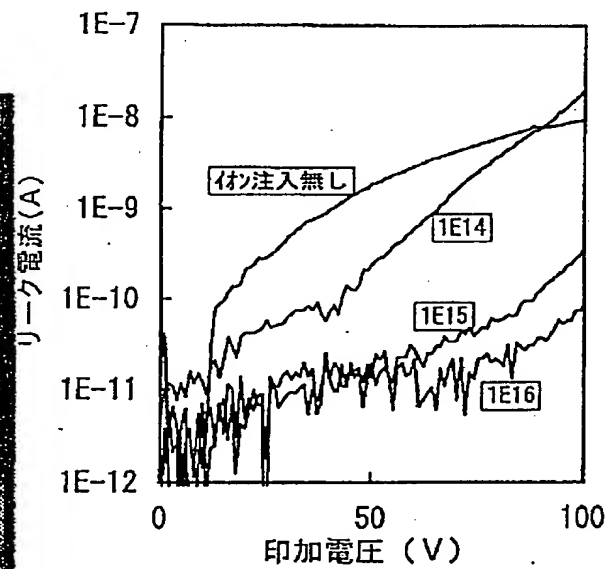


【図 20】

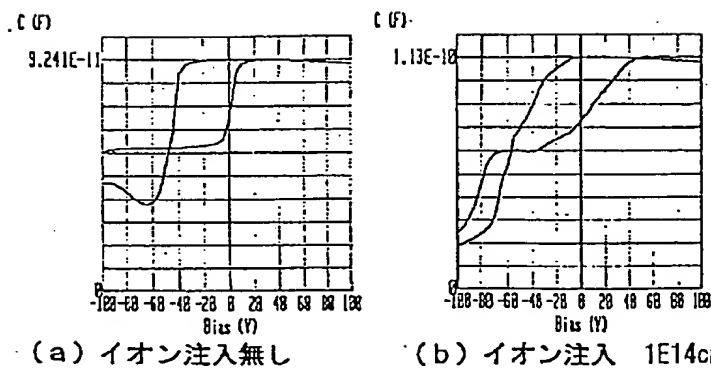
図面代用写真



【図 28】

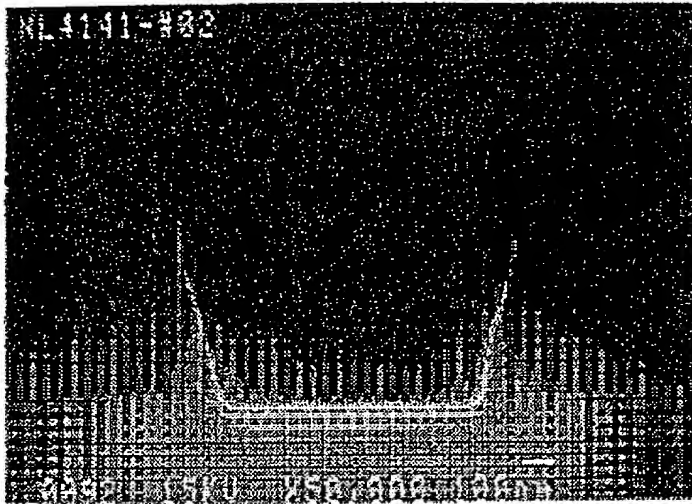


【図 26】



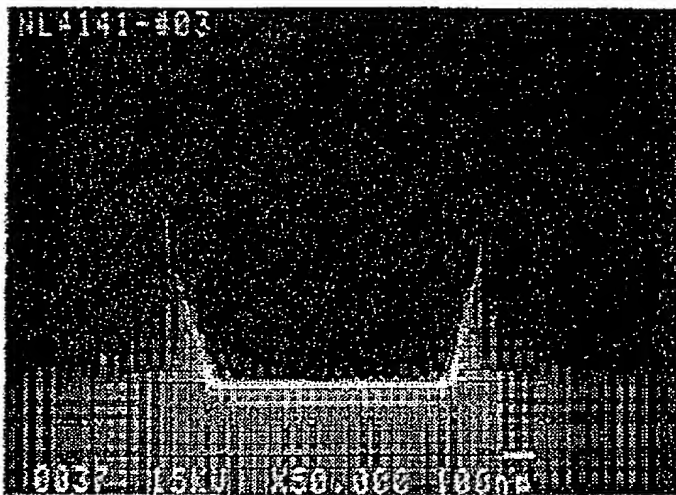
【図 2 1】

図面代用写真

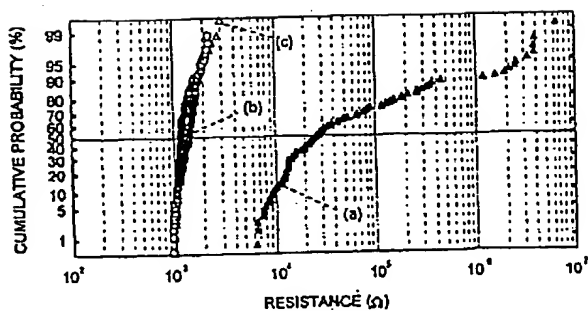


【図 2 2】

図面代用写真

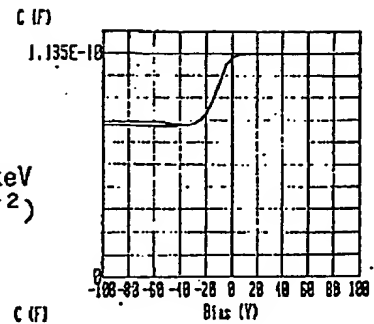


【図 4 1】

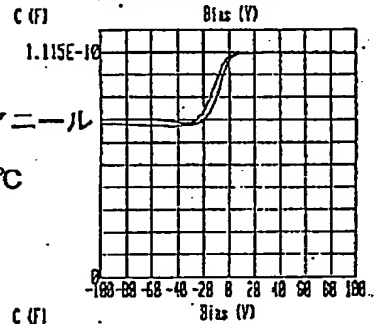


【図 3 0】

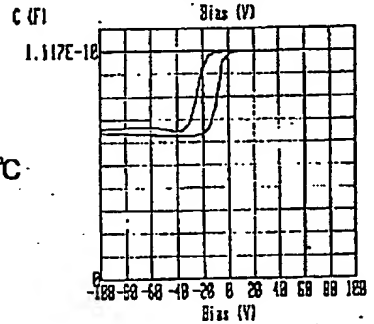
イオン注入
(Ar⁺ 140keV
1E15cm⁻²)



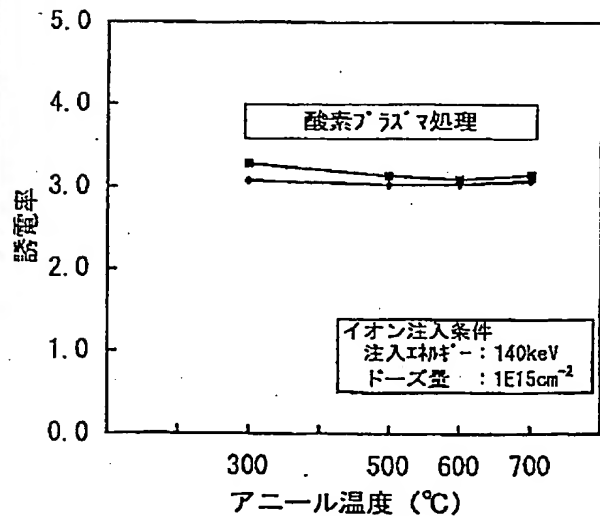
イオン注入後アニール
500°C



600°C

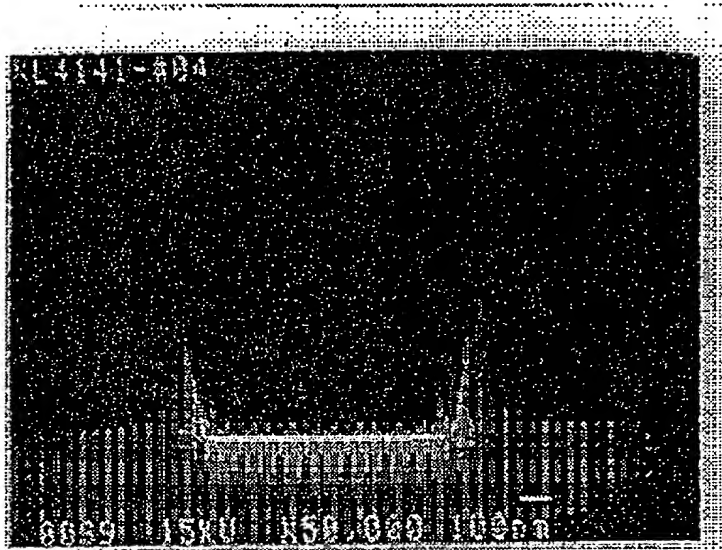


【図 3 1】

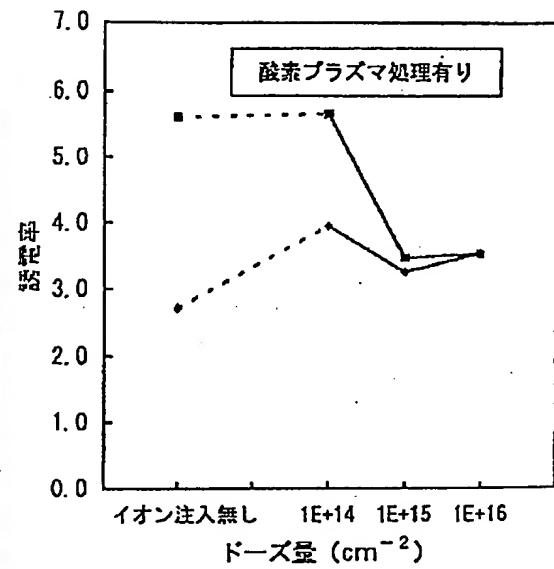


【図 2 3】

図面代用写真

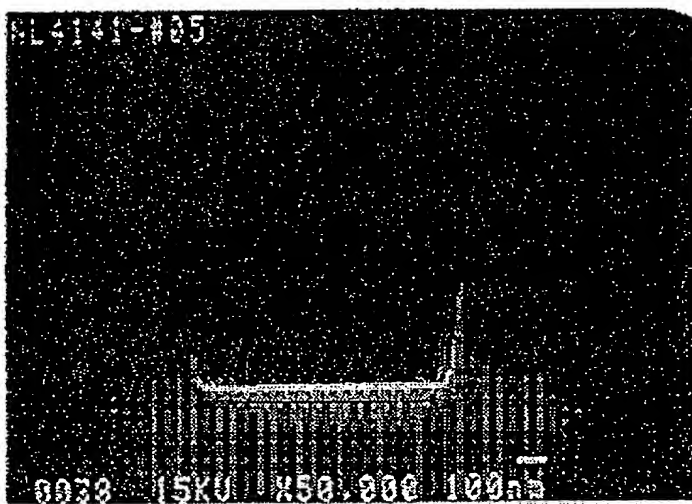


【図 3 2】

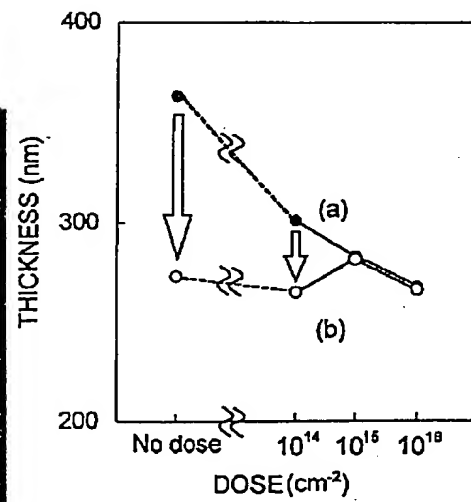


【図 2 4】

図面代用写真

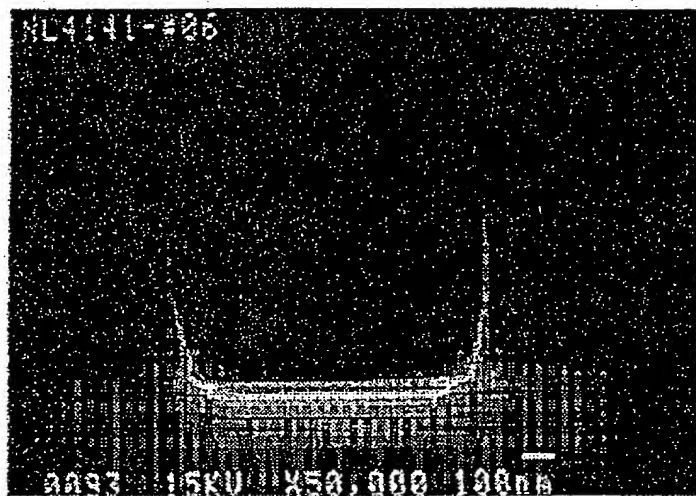


【図 3 4】

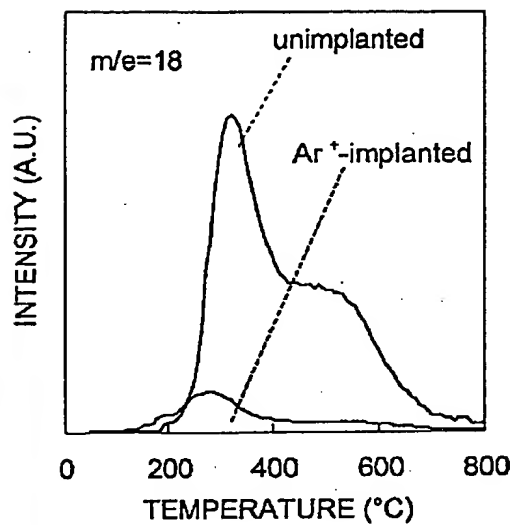


【図25】

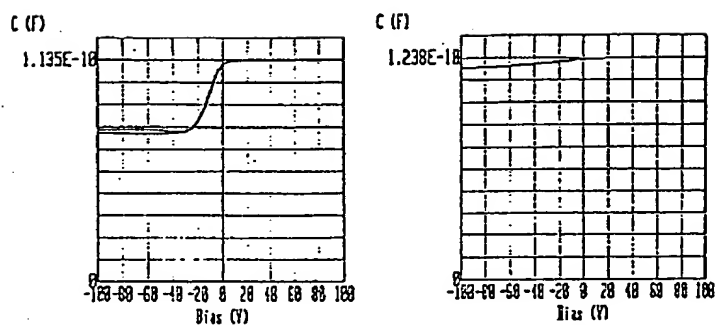
図面代用写真



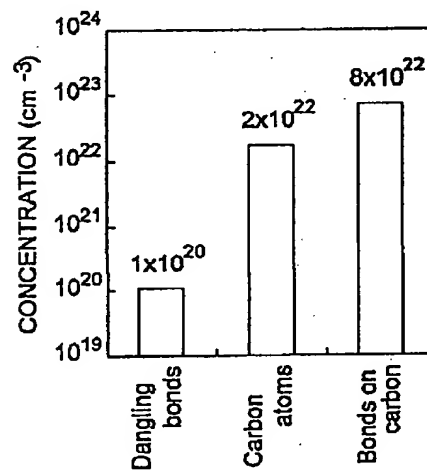
【図37】



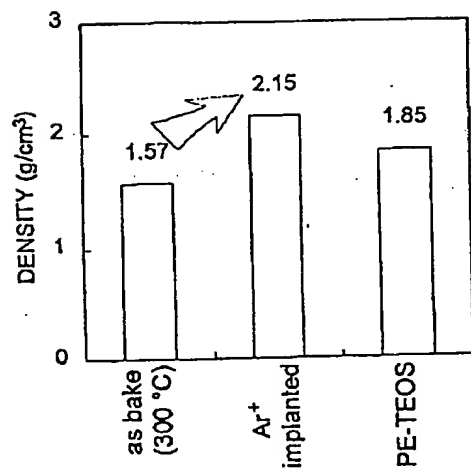
【図27】

(c) イオン注入 $1\text{E}15\text{cm}^{-2}$ (d) イオン注入 $1\text{E}16\text{cm}^{-2}$

【図42】

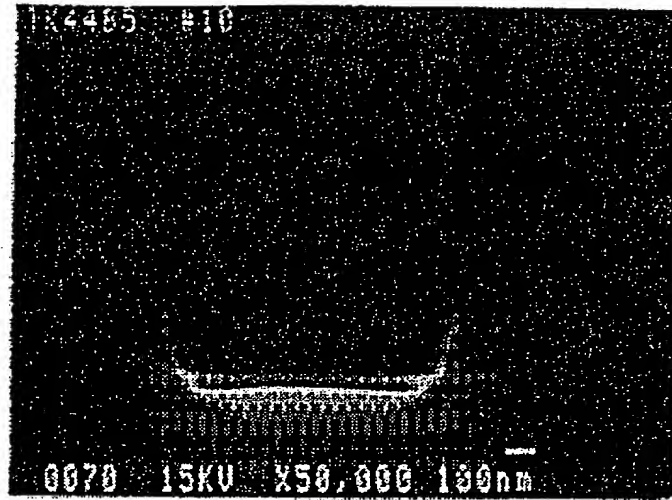


【図43】



【図 3 5】

図面代用写真



【図 3 6】

図面代用写真



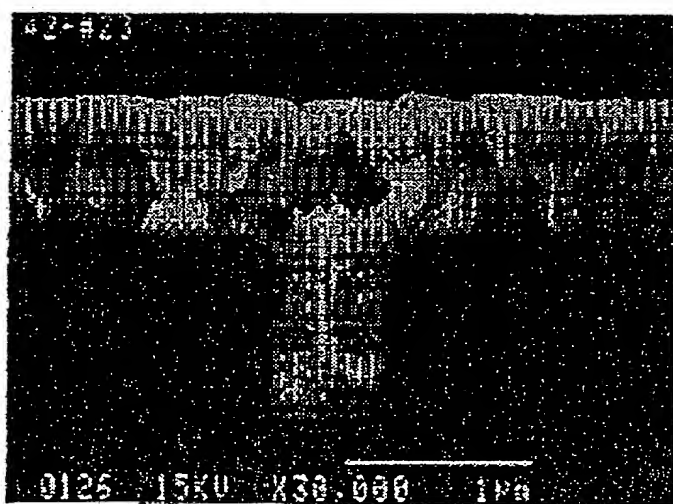
【図 3 8】

図面代用写真



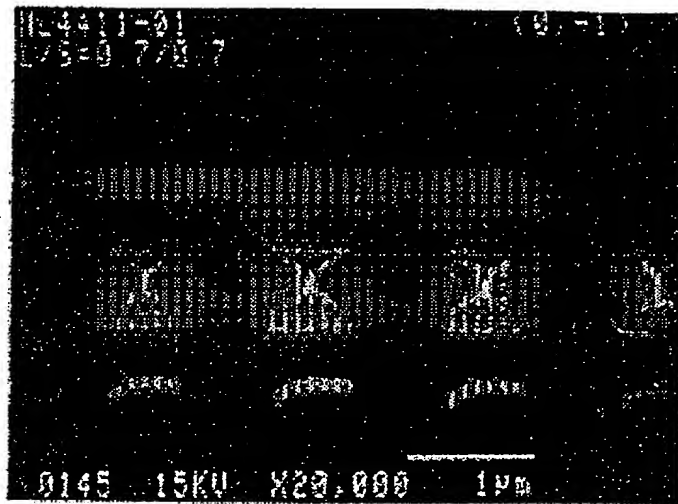
【図 3 9】

図面代用写真

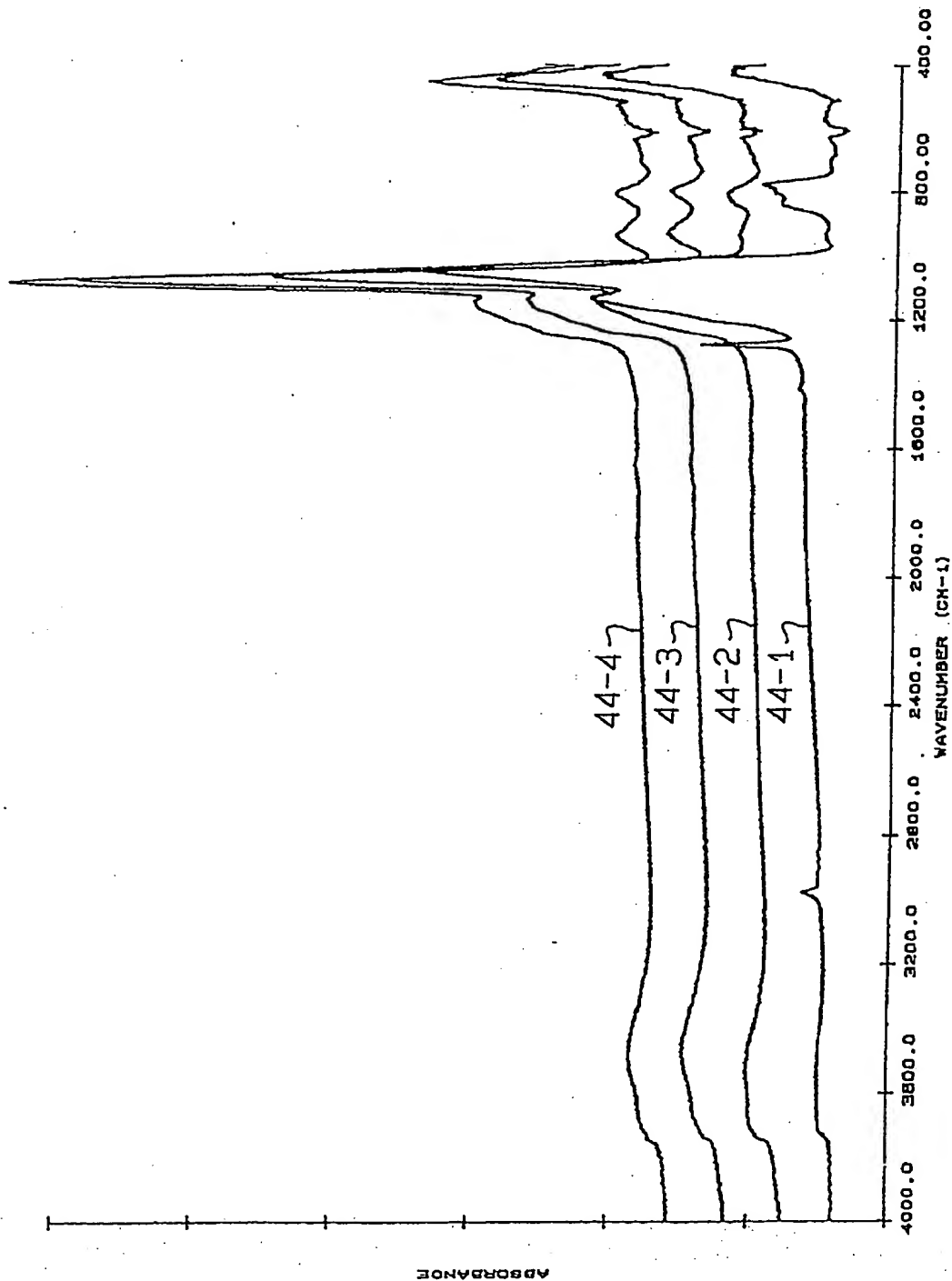


【図40】

図面代用写真



【図 4 4】



フロントページの続き

(31) 優先権主張番号 特願平7-179506
(32) 優先日 平7(1995)6月21日
(33) 優先権主張国 日本(JP)

(72) 発明者 平瀬 征基
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三
洋電機株式会社内

(72)発明者 青江 弘行

大阪府守口市京阪本通 2 丁目 5 番 5 号 三
洋電機株式会社内